

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

UTILISATION DE LA MÉTHODE DE PERCEPTION DE L'EFFORT (SÉANCE-  
RPE: RATING PERCEIVED EXERTION) DANS LA PRÉVENTION DU  
SURENTRAÎNEMENT ET DES BLESSURES MUSCULAIRES CHEZ DES  
JOUEURS DE SOCCER

MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR  
MONTASSAR CHEBBI

NOVEMBRE 2016

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## **REMERCIEMENTS**

Mes remerciements s'adressent d'abord à chaque joueur de l'équipe de soccer qui a participé à la recherche ; sans votre engagement, votre application et votre assiduité, ce projet n'aurait pu être mené à terme. Pour moi, ce sont des frères.

Je tiens à remercier tous les membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail et mes remerciements à chaque personne qui m'a aidé à réaliser ce projet, en particulier mon directeur de recherche, monsieur Alain Steve Comtois pour sa disponibilité et son aide.

Ma gratitude s'adresse également aux professeurs du département de l'activité physique de l'UQAM qui ont contribué à ma formation, mon parcours d'études a été agréable grâce à eux et leur générosité.

Avec reconnaissance, je désire souligner la disponibilité de monsieur Athanasio Detounis pour ses conseils et mesdames France Drolet et Lisange Gervais pour leur soutien durant mes études universitaires.

Finalement un grand merci à mes amis, vous ne savez pas à quel point vos encouragements à poursuivre ma maîtrise ont été précieux.

## **DÉDICACE**

À mes parents, Amor Chebbi et Hayet Darmoul et à mes frères Mohamed Cherif Chebbi et Malek Chebbi pour leur amour et leur présence tout au long de ma vie, ce travail n'est que le fruit de vos encouragements, motivations et sacrifices.



## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	II
DÉDICACE .....	III
LISTE DES FIGURES .....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES ACRONYMES .....	VIII
RÉSUMÉ .....	X
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE I.....	6
PROBLÉMATIQUE.....	6
1.1 Problématique.....	6
1.2 Questions de recherche .....	10
1.3 Objectifs .....	10
1.4 Hypothèse de recherche .....	10
CHAPITRE II .....	12
REVUE DE LA LITTÉRATURE .....	12
2.1 Mise en contexte.....	12
2.2 La charge d'entraînement (CE) .....	12
2.3 Les méthodes de quantification de la charge d'entraînement (CE).....	13
2.3.1 Les méthodes spécifiques aux sports d'endurance .....	14
2.3.2 Les méthodes de quantification réalisées en laboratoire.....	16
2.3.3 La méthode de perception de l'effort (séance-RPE).....	20
2.3.4 Les facteurs influençant la performance sportive .....	24
CHAPITRE III .....	44
MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE .....	44
3.1 Échantillonnage.....	44
3.2 Les techniques utilisées pour l'expérimentation.....	47
3.2.1 Procédures .....	47
3.2.3 Analyses statistiques.....	54
CHAPITRE IV .....	55
LES RESULTATS DE LA RECHERCHE .....	55
4.1 Les résultats de l'expérimentation .....	55

4.1.1 Le surentraînement .....	55
4.1.2 Les blessures .....	63
4.1.3 La performance physique (Test de vitesse sur 30 mètres) .....	67
CHAPITRE V .....	69
DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS .....	69
5. Discussion .....	69
5.1 Prévention des blessures .....	71
5.2 Les limites de la recherche .....	72
5.3 Conclusion .....	73
BIBLIOGRAPHIE .....	75
ANNEXE A .....	93
DISTRIBUTION HEBDOMADAIRE DES SÉANCES-RPE POUR LES 18 PARTICIPANTS .....	94

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 3.1 :</b> Échelle Borg CR-10 modifiée de Foster .....	49
<b>Figure 4.1</b> Valeurs moyennes de la charge d'entraînement, la monotonie et la contrainte de l'équipe de soccer de l'UQAM lors de la saison hivernale 2015.....	55
<b>Figure 4.2</b> Position des blessures relevées sur les participants au cours du championnat hivernal.....	63
<b>Figure 4.3</b> Les types de blessures.....	64
<b>Figure 4.4</b> CE hebdomadaire du groupe Blessé et du groupe Non Blessé durant l'étude .....	65
<b>Figure 4.5</b> Comparaison de la CE totale du groupe Blessé et du groupe Non- Blessé durant l'étude .....	66
<b>Figure 4.6</b> Comparaison du nombre des blessures musculaires entre la saison hivernale 2014 et 2015.....	67
<b>Figure 4.7</b> Résultats de la vitesse sur 30m durant la saison hivernale 2014 et 2015 .	68

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1 :</b> Les différentes distances parcourues.....	1
<b>Tableau 3.1:</b> Les mesures anthropométriques des participants.....	46
<b>Tableau 3.2</b> Le nombre et le type de blessures durant la saison hivernale 2014.....	47
<b>Tableau 3.3</b> Résultats du test de vitesse durant la saison hivernale 2014.....	48
<b>Tableau 4.1</b> Présentation des indicateurs d'adaptation positive et négative liés à l'entraînement.....	58

## LISTE DES ACRONYMES

Calcium :  $\text{Ca}^{2+}$

Charge d'entraînement : CE

Dépense énergétique : DÉ

Ecart type : ET

Exponentiel :exp

Frequence cardiaque : FC

Global Positioning System : GPS

Hydrogene :  $\text{H}^+$

Indice de contrainte : IC

Indice de Fitness : IF

Indice de monotonie : IM

knee injury prevention program : KIPP

Minutes :Min

Moyenne :Moy

Oxygene :  $\text{O}_2$

Phosphocreatine :PCr

Prevent injury and Enhance Performance : PEP

Phosphate : Pi

Potassium : K<sup>+</sup>

Note de l'effort perçu : RPE

Semaines : Sem

Sodium : Na<sup>+</sup>

Training impulse score : TRIMPS

Université du Québec à Montréal : UQAM

Unité arbitraire : UA

Volume maximal d'oxygène : VO<sub>2</sub> max

## **RÉSUMÉ**

Afin de garder un équilibre de la balance des effets positifs (amélioration de la performance sportive) et négatifs (fatigue, blessures, diminution des réserves énergétiques) liés à l'entraînement, les entraîneurs et préparateurs physiques ont besoin d'utiliser une méthode de quantification et de contrôle de la charge d'entraînement imposée aux athlètes. La méthode retenue est la méthode de perception de l'effort(séance-RPE) (Foster 1998) dans le but de quantifier la charge d'entraînement des participants afin d'éviter la survenue des cas de surentrainement et de blessures musculaires, ainsi que l'optimisation de la qualité de vitesse. Notre recherche se concentre sur l'utilisation de la méthode de perception de l'effort (séance-rpe: rating perceived exertion) dans la prévention du surentrainement et des blessures musculaires chez des joueurs de soccer. Comment la méthode séance-RPE peut jouer un rôle important dans la prévention des cas de surentrainement et de la diminution des nombres de blessures musculaires? la méthode séance-RPE a-t-elle un impact sur l'amélioration des deux paramètres : blessures musculaires et qualité de vitesse ? Cette étude de recherche consiste à utiliser un outil de mesure de la charge d'entraînement (CE) chez une équipe de soccer universitaire pendant une saison hivernale de onze semaines.

**MOTS-CLÉS :** quantification de la charge d'entraînement, méthode séance-RPE, soccer universitaire, blessures, surentrainement



## INTRODUCTION

Depuis quelques décennies, au-delà de la performance et de la victoire, le sens du spectacle s'impose de plus en plus dans le sport et il en est de même avec le soccer, le sport le plus populaire sur la planète (Site Web officiel de l'équipe olympique canadienne, 2014). Cela se manifeste non seulement sur l'évolution des paramètres de la performance sportive mais également sur l'efficacité de la nature même du jeu où les efforts sont devenus plus brefs et plus intenses (Carling *et al.*, 2008; Ingebrigtsen *et al.*, 2015; Randers *et al.*, 2010).

Le soccer actuel a fait en sorte que les joueurs deviennent des athlètes certifiés, ce qui leur impose des efforts intenses et des actions violentes à répéter plusieurs fois, dans un intervalle de temps très court (Carling *et al.*, 2008; Ingebrigtsen *et al.*, 2015; Randers *et al.*, 2010)

Cette accélération du jeu a amené les joueurs à courir davantage et à augmenter la dépense énergétique (DÉ) durant les matchs et les entraînements (Dellal, 2008; Bradley *et al.*, 2010).

**Tableau 1 : Les différentes distances parcourues : Dellal (2008)**

Année	Niveau	Distance parcourue en m.
1952	Professionnel anglais	<b>3361</b>
1970	Professionnel suédois	10200
1973	Amateur suédois	12000
1975	Professionnel anglais	11700



1980	Division 2 Finlandaise	7100
1982	Sélection australienne	11500
1986	Amateur suédois	10000
1988	Amateur allemand	9000
1988	Universitaires belges	10300
1994	2 <sup>ème</sup> division anglaise	9660
	International danois	10550
2000	International Amérique du Sud	8638
2001	International Junior norvégien	9107
2004	Professionnel danois	10333
	Professionnel anglais	15000
2007	Professionnel espagnol	11393
	Professionnel brésilien	10012
	Professionnel anglais	10864

Aussi, les défenseurs sont appelés à récidiver les montées dans le but afin de créer le surnombre. Ainsi, la contribution au « *pressing* » (mot anglais signifiant que l'équipe applique un harcèlement à l'adversaire qui est en possession du ballon pour le

recupérer rapidement) des milieux de terrain ainsi que la récupération immédiate après la perte de possession de la balle, les permutations et les appels de balle répétés des attaquants sont devenus primordiaux (Dellal et al., 2008 ; Bradley *et al.*, 2010; Tchokonté, 2011).

Ces facteurs de tactique de jeux démontrent la hausse des exigences physiologiques et physiques du soccer (Dellal et al., 2008 ; Bradley *et al.*, 2010; Tchokonté, 2011).

D'après les spécialistes, cette évolution implique la répartition des efforts durant un match. Un joueur réalise environ une distance de 200 mètres en faisant des sprints répartis sur un nombre total de sprints variant entre 27 et 35 avec une durée de 1 à 6 secondes par match, la distance en sprint représente 1 à 12% de la distance totale parcourue (Bradley *et al.*, 2010; Di Salvo *et al.*, 2010), soit 1 à 3 % du temps de jeu effectif (Stolen *et al.*, 2005). La pratique actuelle est donc composée d'efforts explosifs qui se répètent fréquemment et par des répétitions de plusieurs sprints (2 à 4s) et de courtes périodes de récupération (15 à 30s), (Hawkins *et al.*, 2001; Mohr *et al.*, 2003; Wisloff *et al.*, 2004; Woods *et al.*, 2004; Ingebrigtsen *et al.*, 2015).

En analysant les efforts fournis durant les matchs, les entraîneurs et les préparateurs physiques ont compris que la meilleure façon de faire évoluer ou de maintenir la performance sportive est de réaliser des séances d'entraînement ressemblantes à la nature du jeu durant les compétitions (Chammari, 2011).

Cependant, ce changement au niveau des types d'efforts accomplis en compétition a entraîné une modification des méthodes et des outils d'entraînement. Ceci a été confirmé ultérieurement par les études scientifiques qui ont montré que la base de l'entraînement moderne implique un entraînement intégré orienté vers un travail mixte associant à la fois les paramètres physiques, technico-tactiques et psychologiques (Dellal et al., 2008 ; Tchokonté, 2011).

La méthode d'entraînement mixte utilisée par la majorité des entraîneurs de haut niveau a motivé les physiologistes à trouver des outils permettant de quantifier et de contrôler la charge d'entraînement (CE) des joueurs lors des séances d'entraînement (Dellal et al., 2008 ; Tchokonté, 2011).

Le chercheur américain Carl Foster a développé une méthode de quantification de la CE qui se nomme séance-RPE afin de contrôler et de moduler la CE pour tous les types d'efforts : continus, discontinus, musculation, vitesse et pliométrie (Celine *et al.*, 2011; Impellizzeri *et al.*, 2004; Manzi *et al.*, 2010).

Cette méthode séance-RPE se caractérise par son efficacité, sa facilité d'utilisation et aussi par sa validité dans différents sports dont le soccer féminin (Alexiou et Coutts, 2008), la natation (Wallace *et al.*, 2009), le tennis (Novas *et al.*, 2003), la musculation (Eston et Evans, 2009) et au taekwondo (Haddad *et al.*, 2011).

Parmi les avantages de la méthode séance RPE est l'approche préventive qui permet de prévenir non seulement le surentraînement et les blessures mais aussi de maintenir les joueurs en bonne forme physique et en bonne santé (Foster *et al.*, 2001).

La recherche dans le présent mémoire a tenté de répondre à des questions concernant l'utilisation de la méthode de perception de l'effort, c'est à dire séance-RPE, dans la prévention du surentraînement et des blessures musculaires chez les joueurs de soccer, notamment, comment la méthode séance-RPE peut jouer un rôle important dans la prévention des cas de surentraînement et de la diminution des nombres de blessures musculaires? Et la méthode séance-RPE a-t-elle un impact sur l'amélioration des deux paramètres suivants : réduire les blessures musculaires et améliorer la qualité de vitesse ?

À partir de ces questions, nous avons orienté notre étude de recherche afin d'effectuer 1)une collectedes données et 2)une l'analyse détaillée des données collectées afin de

discerner le rôle important de la méthode séance-RPE dans la prévention des cas de surentrainement et de la diminution des nombres de blessures musculaires ainsi que le maintien ou l'amélioration de la qualité de vitesse.

En somme, cette étude de recherche est basée sur une expérimentation auprès des joueurs de soccer de l'équipe universitaire de l'université du Québec à Montréal (UQÀM) âgés entre 19 et 25 ans durant la saison hivernale 2015.

Ce présent mémoire se compose de cinq chapitres. Le premier chapitre présente la problématique et les questions ainsi que les objectifs de recherche. Le deuxième chapitre présente une revue de littérature scientifique. Le troisième chapitre présente la méthodologie de recherche. Le chapitre quatre les résultats de la recherche. Le cinquième chapitre présente la discussion et la conclusion ainsi que les limites de recherche.

## CHAPITRE I

### PROBLÉMATIQUE

#### 1.1 Problématique

Le soccer est reconnu comme étant le sport le plus populaire au monde, il y a beaucoup de joueurs actifs, en fait d'après une étude réalisée par la FIFA en 2006, les statistiques indiquent qu'il y a 275 millions de joueurs de soccer, soit presque 4% de la population mondiale. Le soccer étant un sport de duel et de contact, le risque de blessure demeure important (Hootman *et al.*, 2007; Rainville *et al.*, 2010).

Ces dernières décennies, le soccer a connu des changements sur tous les aspects : techniques, tactiques, psychiques et physiques. Ces changements ont été bénéfiques pour améliorer la performance sportive (Tchokonté, 2011).

Au Québec, la popularité du soccer est à la hausse, le nombre des joueurs actifs est passé de 91 260 en 1995 à 184 161 en 2014 (Fédération de soccer du Québec). Malheureusement, l'absence de plans d'action pour améliorer la qualité et l'efficacité du soccer québécois ainsi que le manque d'investissement financier ont entraîné des complications au niveau de l'état de santé des joueurs, particulièrement le surentrainement et les blessures : en 2004, 30 000 personnes pratiquantes le soccer ont visité un professionnel de la santé pour soigner une blessure (Rainville *et al.*, 2010).

Actuellement, on retrouve dans la littérature scientifique plusieurs méthodes de quantification de la CE tel que :

- les méthodes spécifiques aux sports d'endurance :
  - La fréquence cardiaque qui consiste à quantifier la CE à partir de la fréquence cardiaque (FC);

- La distance parcourue qui consiste à quantifier la CE en se basant sur la distance parcourue par l'athlète ;
- La méthode « Training Impulse score »(TRIMP) qui consiste à quantifier la CE grâce à l'évolution de la FC durant un effort physique. Le TRIMP est calculée en fonction de la durée et de l'intensité de l'effort.
- Les méthodes de quantification réalisées en laboratoire :
  - La prise du taux de lactate
  - La prise de la consommation maximale d'oxygène (VO2max).
- Les méthodes de technologies portables (Wearable Tech) :

Cette méthode consiste à quantifier la CE en utilisant des capteurs de mouvements, chaleurs, surveillance de la fréquence cardiaque, « Global Positioning System » (GPS)(Testuz, 2010).

Selon la littérature, ces méthodes de quantification de la CE présentent des limites: Selon plusieurs études scientifiques, il a été montré que ces méthodes de quantification de la CE sont appropriées seulement pour les efforts d'endurance et non pas pour les efforts intermittents (Foster *et al.*, 2001; Rodriguez-Marroyo *et al.*, 2012). Aussi, la littérature a montré que l'indicateur « distance » et l'indicateur « fréquence cardiaque » ne sont pas des bons marqueurs pour évaluer l'intensité de l'effort durant des activités intermittentes, de forces et mixtes (Foster *et al.*, 2001). De plus, l'application de certaines méthodes en sports collectifs est déconseillée, car elle nécessite beaucoup de temps pour effectuer la collecte des données et sur le plan financier, le coût de l'application de ces méthodes est très élevé .(Foster *et al.*, 2001; Lambert et Borresen, 2010).



La méthode de perception de l'effort (séance-RPE) a été mise au point par le chercheur américain Foster (2001), cette méthode de séance-RPE se caractérise par son efficacité, sa facilité d'utilisation et aussi par sa validité dans différents sports dont le soccer féminin (Alexiou et Coutts, 2008), la natation (Wallace et al., 2009), le tennis (Novas et al., 2003), la musculation (Eston et Evans, 2009) et au taekwondo (Haddad et al., 2011).

Contrairement aux autres méthodes de quantification de la CE qui nécessitent l'utilisation d'un matériel sophistiqué et coûteux pour évaluer les joueurs, la méthode séance-RPE exige seulement un carnet pour la prise de notes (Foster et al., 2001).

Grâce à son suivi précis sur la perception de l'effort des athlètes, cette méthode permet aux entraîneurs de :

- mieux contrôler et d'adapter les CEs.
- minimiser la différence entre les CEs prévues par les entraîneurs et les CEs ressenties par les joueurs (Dellal, 2008).
- mesurer l'intensité de l'effort lors de n'importe quel type de séance d'entraînement ou de compétition (Foster et al., 2001; Gabbett et Domrow, 2007; Manzi et al., 2010; Psycharakis, 2011).

Par exemple, l'équipe de soccer de l'UQÀM afin d'assurer la progression et l'amélioration de la performance de ses joueurs, est à la recherche de nouvelles méthodes de travail pour être adoptées pour remplacer les anciennes où le travail collaboratif et le partage n'étaient pas appliqués (Christophe Dutarte, Entraîneur chef de l'équipe de soccer de l'UQAM et Athansio Detounis, Préparateur physique de l'équipe).

Parmi les nouvelles méthodes, on retrouve :

1. le partage des tâches entre tous les entraîneurs du personnel technique :

- Christophe Dutarte : entraîneur-chef
- Athanasio Destounis : responsable de la préparation physique
- Jules Gueguen: responsable de la préparation mentale
- Alex Rouge : entraîneur des gardiens
- Hassan Tankoura : entraîneur adjoint
- Jawad Gizaoui : entraîneur adjoint (comportement défensif)

Cette méthode de partage des tâches comporte plusieurs avantages dont celui de bénéficier de plus d'avis avant de faire les choix et, de plus, elle favorise la réalisation de séances d'entraînement individualisées et spécifiques (attaquants, défenseurs, milieux de terrain, gardiens de but) en accord avec les critères du soccer moderne qui est basé sur le travail spécifique de chaque compartiment, contrairement au soccer ancien qui est basé sur un entraînement général pour toute l'équipe (Dellal, 2008).

2. l'application des séances de visionnage

La méthode de visionnage aide les joueurs à effectuer une autocorrection sur le plan tactique (personnel technique de l'équipe de soccer de l'UQAM).

3. à l'hiver 2015, en collaboration avec le responsable de la préparation physique de l'équipe de soccer de l'UQAM, M. Athanasio Destounis, la méthode de perception de l'effort séance-RPE a été appliquée afin de quantifier et de moduler la CE et aussi évaluer si l'approche de séance-RPE permettrait de réduire et possiblement éviter les blessures musculaires chez les joueurs de soccer de l'UQAM.



Donc, dans le cadre de ce mémoire, nous allons procéder à une collecte de données concernant : 1) la charge d'entraînement (CE), 2) la monotonie (IM), 3) la contrainte (IC), 4) le fitness (IF), et 5) Nombre de blessures.

## **1.2 Questions de recherche**

### Question principale de recherche

- Comment la méthode séance-RPE peut jouer un rôle important dans la prévention des cas de surentrainement et dans la diminution des nombres de blessures musculaires durant la saison hivernale 2015 ?

### Questions secondaires

- la méthode séance-RPE a-t-elle un impact sur l'amélioration des deux paramètres : les blessures musculaires et la vitesse gestuelle (présentée dans notre étude sous forme de Sprint sur 30m)?

## **1.3 Objectifs**

Ce travail de recherche est relié aux débats et aux résultats concernant la CE.

### Objectif principal

L'objectif principal de cette étude de recherche est de démontrer si l'utilisation de la méthode séance-RPE permet de réduire le nombre de blessures chez les joueurs de soccer durant une saison compétitive.

## **1.4 Hypothèse de recherche**

Nous avons donc formulé l'hypothèse suivante :

*La méthode séance - RPE permettra de diminuer le nombre des blessures musculaires durant une saison universitaire compétitive*

## CHAPITRE II

### REVUE DE LA LITTÉRATURE

Dans ce chapitre, nous exposons un ensemble de connaissances relatives à notre étude de recherche.

#### 2.4 Mise en contexte

Le but de l'entraînement physique est d'améliorer la performance sportive. A chaque séance d'entraînement ou de compétition, préparateurs physiques et entraîneurs sont censés apporter des adaptations positives, que ce soit sur l'amélioration des qualités physiques, la correction des gestes techniques ou bien l'optimisation de l'estime de soi grâce à la bonne gestion de la CE. Toutefois, plusieurs entraîneurs oublient le côté négatif associé à l'entraînement comme la fatigue, le surentraînement et les blessures (Foster, 1998; Gabbett et Domrow, 2007). Cela peut entraîner un déséquilibre sur la balance des adaptations positives et négatives liées à l'entraînement et même causer un ralentissement de la progression et de l'optimisation de la performance sportive .

#### 2.5 La charge d'entraînement (CE)

La littérature scientifique a montré que la définition de la CE diffère entre les physiologistes, par exemple, Bernard Turpin, dans son livre intitulé « Préparation et entraînement du footballeur »(2002), l'a définit comme « *la somme de travail demandée au joueur par unité de temps, l'unité pouvait être le jour, la semaine, l'année* ». Selon Palatonov (1987), elle représente l'ensemble des stimuli que subit un sportif lors d'une séance d'entraînement, elle correspond au produit de la durée et de la puissance de l'effort effectué.

Pour d'autres auteurs,(Foster *et al.*, 2001; Rodriguez-Marroyo *et al.*, 2012. ;Scott *et al.*, 2013), cette CE est décrite comme un stress exigé aux athlètes sous forme

d'activités physiques. De plus, ce stress stimule l'organisme en créant une perturbation de son équilibre initial. Suite à cette modification, l'organisme répondra par une réaction d'adaptation permettant d'augmenter les réserves fonctionnelles de l'athlète. Durant cette période d'adaptation, des changements structurelles surviennent au niveau des différents systèmes sollicités (système énergétique, respiratoire, musculaire et cardio-vasculaire) qui permettront d'améliorer la performance de l'athlète. Elle est composée de la CE externe qui est présentée par le volume, l'intensité, la fréquence et la densité et de la CE interne ou la charge ressentie qui correspond à la faculté d'adaptation que l'athlète accomplit pour gérer un certain stress physiologique et psychologique durant les pratiques et aussi les matchs (Foster *et al.*, 2001; Rodriguez-Marroyo *et al.*, 2012. ; Scott *et al.*, 2013)

### **2.3 Les méthodes de quantification de la charge d'entraînement (CE)**

La recherche scientifique joue un rôle important pour améliorer le sport et faire avancer la performance. Le soccer est l'un des bénéficiaires de ces recherches qui ont permis de mieux explorer les techniques de contrôle et de quantification de la CE, permettant ainsi d'éviter les blessures et d'optimiser la performance (Borresen et Lambert, 2009).

Au soccer, il existe plusieurs méthodes de quantification de la CE parmi lesquelles :

- Les méthodes spécifiques aux sports d'endurance :
  - La fréquence cardiaque ;
  - La distance parcourue ;
  - La méthode TRIMP ;
- Les méthodes de quantification réalisée en laboratoire :
  - La Prise du taux de lactate dans le sang.
  - La prise de la consommation maximale d'oxygène ( $VO_2\text{max}$ )

- Les méthodes de technologies portables (Wearable Tech).
- La méthode de perception de l'effort (séance-RPE).

### **2.3.1 Les méthodes spécifiques aux sports d'endurance**

#### **2.3.1.1 La fréquence cardiaque**

La fréquence cardiaque est considérée comme la méthode objective la plus utilisée pour mesurer la CE et plus précisément la charge interne (la fréquence cardiaque) des athlètes au cours d'un effort physique (Achten et Jeukendrup, 2003; Foster *et al.*, 2001; Rodriguez-Marroyo *et al.*, 2012).

Sur ce point, Karvonen et Vuorimaa (1988) pensaient que la fréquence cardiaque pouvait être un bon indicateur de l'intensité de l'effort physique, or il a été montré dans plusieurs études que la méthode de quantification de la CE à partir de la prise de la fréquence cardiaque est appropriée seulement pour les efforts d'endurance et non pour les efforts intermittents (Foster *et al.*, 2001; Rodriguez-Marroyo *et al.*, 2012), de plus elle présentait de nombreuses limites qui peuvent changer la relation entre (FC/CE) dont le niveau de fatigue, l'hydratation, les conditions environnementales et l'altitude.

#### **2.3.1.2 La distance parcourue**

Le suivi de la distance parcourue est une autre technique qui consiste à calculer la distance parcourue par l'athlète. Plusieurs études ont été réalisées dans le sport de haut niveau pour déterminer les distances parcourues par les athlètes (Cahill *et al.*, 2013; Coughlan *et al.*, 2011).

La méthode de suivi de la distance parcourue est utilisée afin de permettre la quantification de la charge externe (distance). Cette méthode est plus spécifique aux efforts d'endurance, par contre cet indicateur « distance » n'est pas un bon marqueur

pour évaluer l'intensité de l'effort durant des activités intermittentes, de force et mixtes (Foster *et al.*, 2001).

Aujourd'hui, plusieurs technologies permettent de donner des informations précises sur la distance parcourue en sports collectifs tels que le soccer, le rugby, grâce au système GPS et par le système de suivi par caméra qui est utilisé par la majorité des grandes équipes de soccer et de basketball (Coutts et Duffield, 2010; Varley *et al.*, 2012).

### **2.3.1.3 La méthode TRIMP (Training Impulse Score)**

Cette méthode objective a pour but la quantification de la CE grâce à l'évolution de la fréquence cardiaque durant un effort physique.

La méthode TRIMPS peut être calculée de plusieurs manières, selon la méthode de Banister et Calvert (1980), celle-ci est calculée en fonction de la durée et de l'intensité de l'effort :

$$\text{TRIMPs} = \text{durée de la séance (minutes)} \times (\text{facteur A} \times \Delta\text{FC} \times \exp(\text{facteur B} \times \Delta\text{FC}))$$

$$\Delta\text{FC ratio} = (\text{FC Moy} - \text{FCR}) / (\text{FC max} - \text{FCR})$$

Facteur A, Facteur B : coefficient pondérateur qui dépend de la fréquence cardiaque (exponentiellement croissant) durant un effort physique.

Pour les Femmes : Facteur A = 0.86 et Facteur B = 1.67

Pour les Hommes : Facteur A = 0.64 et Facteur B = 1.92

Ensuite Edwards 1993 a utilisé la même méthode sauf qu'il a mis des zones de fréquences cardiaques afin de déterminer la valeur précise de l'intensité de l'effort effectué (Castagna *et al.*, 2011; Edwards, 1993)

1 - 50-60%



2 - 60-70%

3 - 70-80%

4 - 80-90%

5 - 90-100%

Donc, la formule pour calculer les TRIMPs prend la forme suivante :

$$\begin{aligned} \text{TRIMPs} &= \text{Durée dans chaque zone d'intensité (min)} \times \text{coefficient correspondant} \\ &= (\text{Durée zone 1} \times 1) + (\text{Durée zone n} \times n) \dots + (\text{Durée zone 5} \times 5) \end{aligned}$$

Lucia (2003) a réalisé des modifications sur les zones d'intensité et les coefficients de chaque zone. La formule de calcul demeure essentiellement la même, c'est-à-dire, la durée dans chaque zone d'intensité (**min**) x coefficients correspondant (1, 2 ou 3), donc la formule devient :

$$\text{TRIMPs} = (\text{Durée zone 1} \times 1) + (\text{Durée zone 2} \times 2) + (\text{Durée zone 3} \times 3)$$

Toutefois, ces méthodes sont inadéquates pour les sports intermittents et de haute intensité (sports collectifs, musculation), car la fréquence cardiaque ou la distance parcourue n'est pas toujours un bon indicateur de l'intensité de l'exercice physique (Roy, 2013).

## **2.3.2 Les méthodes de quantification réalisées en laboratoire**

### **2.3.2.1 La Prise du taux de lactate dans le sang**

Cette méthode consiste à faire un prélèvement à l'aiguille sur le bout des doigts de l'athlète à l'aide d'un analyseur portatif de lactate permettant de quantifier les efforts intermittents (Bonaventura *et al.*, 2015; Pyne *et al.*, 2000).

### **2.3.2.2 Détermination de la consommation maximale d'oxygène (VO<sub>2</sub>max)**

Cette méthode s'effectue en laboratoire, elle consiste à mesurer le taux d'oxygène total qu'un athlète peut extraire lors d'un effort dont l'intensité augmente progressivement jusqu'à l'arrêt. Les mesures des échanges gazeux au cours de ce test sont effectuées grâce aux différents appareils tels le sac de Douglas, le K4b2.

Il est conseillé aux joueurs de soccer de réaliser ce test sur un tapis roulant, dans le but de se rapprocher de la nature du jeu (Stolen *et al.*, 2005).

L'application de ces méthodes en sports collectifs est difficile à appliquer, car elle nécessite beaucoup de temps pour effectuer la collecte des données, et de plus, elle doit se faire en laboratoire. (Foster *et al.*, 2001; Lambert et Borresen, 2010).

### **2.3.2.3 Les méthodes de technologies portables (Wearable Tech)**

Récemment, les appareils technologiques portables ont bénéficié du rôle de la médiatisation et de l'exposition commerciale pour réaliser des gains énormes lors des ventes de ces produits efficaces aux quatre coins de la planète (Charlot, 2013).

L'utilisation accrue de ce savoir-faire durant ces dernières années ainsi que l'augmentation du taux des ventes expliquent le succès et la réussite de cette technologie (Charlot, 2013).

Le progrès de la technologie a permis aux entraîneurs et aux préparateurs physiques de contrôler les mouvements des joueurs, les charges d'entraînements (Varley *et al.*, 2012) grâce à l'utilisation de ces appareils sophistiqués.

Ces derniers ont pour but principal d'optimiser la performance et de prévenir les blessures grâce à un suivi spécifique qui permet d'identifier l'apparition précoce de la fatigue et ensuite de l'éviter.



Certains produits sont disponibles depuis quelques années dont les :

- capteurs de mouvement ;
- capteurs physiologiques.

Parmi les capteurs de mouvement :

- Le podomètre, un appareil qui permet de calculer le nombre de pas effectué, il est considéré comme le capteur de mouvement le plus simple et aussi le plus souvent utilisé. Malheureusement, le podomètre présente certaines limites telles que, l'incapacité à détecter les changements de direction, l'invalidité à calculer les dépenses énergétiques (Crouter *et al.*, 2003; Tudor-Locke *et al.*, 2006) et l'inefficacité à détecter les activités non ambulatrices (vélo, entraînement musculaire, course) (Bassett, 2000)
- L'accéléromètre : ce capteur est capable de percevoir les mouvements sous plusieurs dimensions, il permet aussi d'estimer la dépense énergétique afin d'évaluer l'intensité d'une activité physique (Lee *et al.*, 2014).

Ces dernières années, des nouveaux dispositifs d'accéléromètre ont été déployés sur le marché sous forme de bracelets portables (FitBit, Jawbone, Nike Fuelband, Microsoft Band, Smartband de Sony, Nike+ Run) afin de quantifier certains paramètres physiologiques comme la dépense énergétique et la fréquence cardiaque. Plusieurs études ont conclu que les données d'accéléromètre ont été utilisées dans des différents sports (football australien, tennis, golf, natation) dont le but est d'optimiser la performance des athlètes (Boyd *et al.*, 2013; Gabbett, 2013)

- Le système mondial de positionnement (GPS) est un système de géolocalisation par satellite créé par l'armée américaine. Certains dispositifs comme le Vivofit et Vivo Active, Polar M400 et le FitBit ont introduit ce système (GPS) dans des appareils portables qui permettent d'afficher plusieurs données comme le kilométrage, le nombre de pas, la dépense calorique, l'altitude et la vitesse. La littérature a montré que ce système a été adopté dans des différents sports pour contrôler la vitesse et la position des joueurs (Gabbett et Seibold, 2013; Larsson, 2003; Larsson et Henriksson-Larsen, 2005) et plus précisément dans le sport professionnel (football australien et rugby) (Gabbett, 2010; Johnston *et al.*, 2012; Mooney *et al.*, 2011; Wisbey *et al.*, 2010).

Parmi les capteurs physiologiques :

- Les moniteurs de surveillance de la fréquence cardiaque : ces dispositifs permettent de quantifier l'intensité de l'effort grâce à la fréquence cardiaque. Ces dernières années de nouveaux moniteurs de fréquence cardiaque ont été développés et intégrés dans des téléphones intelligents et des bracelets (Polar Electro, Suunto). Ce dispositif a été exploité dans plusieurs études qui ont été réalisées pour divers sports y compris le basketball, le rugby et le soccer (Kohl, 2001; Matthew et Delextrat, 2009).
- Les capteurs de chaleurs : ce sont des capteurs cutanés permettant d'évaluer et de contrôler la température corporelle centrale d'un athlète au cours des activités athlétiques, malheureusement ces capteurs présentent des limites causant des irritations de la peau et parfois un manque de

fiabilité lors de l'estimation de la dépense énergétique pendant les exercices de haute intensité (Noonan et al., 2012).

- Les capteurs intégrés : ces dispositifs ont été développés pour être utilisés dans des activités physiques afin de détecter les mouvements des athlètes (Johnstone *et al.*, 2012; Portas *et al.*, 2010). Ces technologies électroniques et informatiques sont constituées d'un capteur physiologique sans fil placé sur des objets bien précis (vêtements, chaussures, montres, lunettes, bracelets, etc.). Parmi ceux-ci, il y a le t-shirt de sueur développé par la société canadienne Hexoskin en 2014 et qui a pour objectif de mesurer la concentration en calcium et en potassium afin de déterminer l'état de fatigue de l'athlète.

En 2009, le magazine Wired mentionnait que plus de 1.2 million d'Américains utilisent des chaussures Nike équipées de capteurs qui sont reliées à leur iPhone ou iPod.

En 2013, le cabinet Gesellschaft für Konsumforschung a dévoilé qu'en France plus de 30 000 de ces objets sont déjà vendus et ils estiment en vendre 2 millions en 2015.

### **2.3.3 La méthode de perception de l'effort (séance-RPE)**

Cette méthode permet de mesurer la CE pour des activités à intensités variées (endurance, musculation, force, etc.), elle prévient l'apparition du surentrainement et des blessures. Les avantages de cette méthode : elle est économique du point de vue financier et facile à utiliser.

Le score de l'effort perçue (RPE Rating of Perceived Exertion) a été créée par Foster (1998). En parallèle avec les mesures physiologiques, on peut avoir une mesure

précise tout en posant une simple question à l'athlète sur la difficulté de l'effort (Foster, 1998).

En échange, l'athlète utilise sa propre perception afin de répondre et de donner une note de l'effort perçu durant une séance d'entraînement ou de compétition (Foster, 1998). L'auteur a constaté que l'organisme humain fonctionne de la manière suivante : réception -perception- réaction.

En fait, c'est grâce aux récepteurs sensoriels que le système nerveux central reçoit l'information sous forme de stimuli internes (diminution du taux des réserves énergétiques, diminution du taux de O<sub>2</sub> dans le sang...) et par la suite l'information sera transmise au centre de traitement de l'information par l'intermédiaire des neurones sensoriels (Spence et Mason, 1983)

Ces changements physiologiques renseignent le système nerveux central de l'état de fatigue du corps humain et c'est ainsi qu'on pourrait estimer la difficulté de chaque séance d'entraînement ou de compétition.

#### **2.3.3.1 Explication de la méthode de perception de l'effort (séance-RPE)**

La méthode séance-RPE est une méthode de quantification de la CE, elle exige que chaque athlète réponde à une question en accordant un score de sa propre perception de l'effort sur une échelle de (0 à 10 échelle de Borg) qui a été modifiée par Foster, à l'intérieure des trente minutes qui suivent la fin de chaque séance d'entraînement ou de compétition (Foster *et al.*, 2001; Lambert et Borresen, 2010).

La méthode consiste à calculer la CE par le biais d'une équation, tout en multipliant le score de l'effort perçue (RPE) donné par l'athlète (Bonaventura *et al.*, année) et la durée de la séance en minutes :

- $CE = RPE \times \text{durée}$  (Ingebrigtsen *et al.*, 2015)

Prenons l'exemple d'une séance d'entraînement qui dure 90 minutes durant laquelle un athlète avait donné une valeur de 6.5 :

- $CE = 6.5 \times 90$
- $CE = 585$  UA (unités arbitraires)

### **2.3.3.2 Avantages de la méthode RPE**

Plusieurs entraîneurs de soccer utilisent la méthode séance-RPE dans le but de quantifier et de contrôler la CE, car elle présente plusieurs avantages dont :

- Une validité scientifique : Au début, Foster et ses collaborateurs ont commencé par valider cette méthode par rapport à d'autres méthodes de quantification de la CE dont la méthode Training Impuls Score (TRIMPS). Ensuite, plusieurs études ont validé cette méthode pour les efforts d'endurance et aussi avec d'autres activités sportives comme le soccer, le basketball (Coutts et al., 2007; Haddad et al., 2011; Impellizzeri et al., 2004; Novas et al., 2003; Scott et al., 2013; Wallace et al., 2009).
- Une utilisation plus facile : Contrairement aux autres méthodes de contrôle de la CE qui nécessitent l'utilisation d'un matériel sophistiqué et coûteux pour évaluer les joueurs tel que : les méthodes de technologies portable, les méthodes de quantification réalisées en laboratoires...La méthode séance RPE exige seulement un carnet. Dans le carnet, on note les données de chaque joueur et un chronomètre afin de mesurer la durée de la séance, par la suite, il suffit de faire une simple opération de multiplication ( $CE = \text{intensité} \times \text{durée de la séance}$ ) (Foster *et al.*, 2001).
- Une amélioration dans l'ajustement des charges d'entraînement : Grâce à son suivi précis sur la perception de l'effort des athlètes, cette méthode permet aux entraîneurs de mieux contrôler et d'adapter les charges d'entraînement (CE) durant la semaine. Elle permet aussi de minimiser la différence entre les

charges d'entraînements prévues par les entraîneurs et les charges d'entraînements ressenties par les joueurs (Dellal, 2008). En effet, la méthode RPE permet l'amélioration de la planification et de l'optimisation de la performance sportive (Dellal, 2008).

- Une quantification d'une variété de séances d'entraînement : Une des caractéristiques importantes de cette méthode est que les entraîneurs peuvent utiliser cette dernière afin de mesurer l'intensité de l'effort lors de n'importe quel type de séance d'entraînement ou de compétition (Foster *et al.*, 2001; Gabbett et Domrow, 2007; Manzi *et al.*, 2010; Psycharakis, 2011).

Par exemple :

- ✓ lors des entraînements physiques (musculature, vitesse, force, etc.)
- ✓ lors des entraînements techniques (dribble, tirs)
- ✓ lors des entraînements technico-tactiques

### **2.3.3.3 Rôle préventif de la méthode de perception de l'effort (séance-RPE)**

Un des avantages de la méthode RPE est l'approche préventive qui permet de maintenir les joueurs en forme physique et en bonne santé. Tout d'abord, la méthode séance-RPE dispose des paramètres importants qui jouent à la fois le rôle d'indicateurs d'adaptation positive et aussi d'indicateurs d'adaptations négatives liés à l'entraînement (Foster *et al.*, 2001).

Selon Foster, la CE est un indicateur des adaptations positives à l'entraînement, c'est grâce à celui-ci que la performance sportive peut s'améliorer.

### **Indice de monotonie (IM)**

Indicateur de variabilité et des adaptations négatives lors des entraînements.



*«Une diminution de la capacité de performance et une apparition de la fatigue au-delà d'un indice de 2, surviennent des blessures au-delà de 2.5 » (Foster, 1998).*

L'IM se calcule de la façon suivante :

**IM** = charge moyenne hebdomadaire / écart type de la charge durant la semaine.

### **Indice de contrainte (IC)**

Indicateur majeur des adaptations négatives lors des entraînements.

*«Une contrainte qui dépasse les 6000 U.A(Unité Arbitraire) par semaine peut causer l'apparition du surentrainement, ou bien peut entraîner des blessures au-delà de 10000 U.A par semaine» (Foster, 1998).*

*«Une contrainte hebdomadaire élevée permet d'expliquer plus de 85% des problèmes de santé associés au surentrainement. Lorsque la contrainte hebdomadaire est plus importante que la charge, la capacité de performance diminue et vice-versa» (Foster, 1998).*

**IC** = CE x indices de monotonie

### **Indice de fitness**

Indicateur de la capacité de performance.

**IF** = charge – contrainte

## **2.3.4 Les facteurs influençant la performance sportive**

### **2.3.4.1 La fatigue musculaire**

Dans le domaine de la physiologie de l'effort, ce terme se définit comme : *« une sensation d'incapacité du corps humain à produire un niveau de force dans le but*

*d'exécuter un effort physique* »(Enoka et Duchateau, 2008). La fatigue représente aussi une baisse de l'état physiologique et/ou psychique suite à la réalisation d'un effort physique. Cette baisse engendre par la suite une diminution de la performance physique et/ou mentale ou bien dans certains cas, impose l'arrêt immédiat (Enoka et Duchateau, 2008; Bigland-Ritchie *et al.*, 1983; Edwards et Lippold, 1956; Fitts, 1994; Barry et Enoka, 2007).

Depuis longtemps la fatigue musculaire a été définie comme *«l'incapacité d'un muscle ou d'un groupe musculaire à maintenir la force exigée ou attendue, entraînant une diminution de performance»*(Bigland-Ritchie *et al.*, 1983; Edwards et Lippold, 1956). Par la suite (Fitts, 1994) l'a défini comme *«une incapacité à maintenir le travail physique usuel, menant à une réduction du niveau de performance »*

D'autres auteurs l'ont définie de la manière suivante : *« une réduction, induite par l'exercice, de la capacité du muscle à produire une force ou une puissance, que la tâche puisse être maintenue ou non »* (Barry et Enoka, 2007)

La littérature qui suit présente deux types de fatigue : la fatigue qui affecte le système nerveux central (la fatigue centrale) et la fatigue qui touche le système nerveux périphérique et le tissu musculaire (la fatigue périphérique) (Edwards et Lippold, 1956; Bigland-Ritchie *et al.*, 1983; Fitts, 1994)

#### **2.3.4.1.1 Fatigue centrale**

La fatigue centrale se manifeste par une diminution du niveau d'activation de la commande motrice issue du cerveau en direction des muscles squelettiques. Elle peut être due à une baisse du recrutement des unités motrices (Gandevia, 2001).



La littérature scientifique a souvent évoquée le sujet de la fatigue centrale et plus précisément les mécanismes responsables de l'apparition de cette dernière, survenant au niveau supraspinal et spinal centrale (Bailey et al., 1993; Seguin et al., 1998; Nybo & Secher, 2004; Meussen, 2007; Sesboüé et Guinestre, 2006)

Au niveau supraspinal, une étude de (Meussen, 2007) a montrée qu'une commande descendante relative du cortex moteur est expliquée par des changements neurochimiques se manifestant au niveau supraspinal.

En effet plusieurs recherches scientifiques ont confirmées l'étude de Meussen, 2007, tout en déterminant l'implication de la concentration des motoneurones (dopamine, noradrénaline...) dans la diminution de la fréquence de contraction musculaire et l'apparition de la fatigue centrale (Nybo & Secher, 2004; Seguin et al., 1998; Bailey et al., 1993; Sesboüé et Guinestre, 2006).

Au niveau spinal, plusieurs mécanismes sont mis en jeu dans l'apparition de la fatigue centrale au niveau spinal. D'après Misiaszek, 2003, un changement a été constaté sur l'excitabilité du réflexe de Hoffman au cours de son expérimentation par rapport à la stimulation maximale du réflexe de Hoffman et la réponse maximale musculaire. Ce changement a affecté plus précisément l'amplitude du réflexe de Hoffman suite à l'excitabilité des motoneurones, la quantité des neurotransmetteurs libérés et les propriétés intrinsèques des motoneurones.

De plus, d'autres études scientifiques ont citées l'existence d'autres mécanismes complexes amenant a la variation de l'excitabilité spinal outre que le réflexe de Hoffman tel que : les mécanismes d'inhibition présynoptique, de dépression post-activation, d'inhibition réciproque ou d'inhibition récurrente (Hultborn et al., 1987; zehr, 2002; Tanino et al., 2004).

#### **2.3.4.1.2 Fatigue périphérique**

La fatigue périphérique inclut les mécanismes présentant au-delà de la jonction neuromusculaire et impliquant le cheminement allant de l'excitation du muscle jusqu'à l'interaction des ponts actine-myosine (Fitts, 1994).

Parmi les mécanismes impliqués dans l'apparition de la fatigue périphérique, on trouve des facteurs électriques au niveau de la jonction neuromusculaire (problème de conduction du potentiel d'action) et aussi des facteurs métaboliques au niveau cellulaire (déséquilibre ionique, accumulation des métabolites d'hydrogène ( $H^+$ ), de Phosphate (Pi), du ratio ADP/ATP, etc.).

Au niveau de la jonction neuromusculaire, d'après (Gandevia, 2001), des modifications ont été constatées concernant le ralentissement de la conduction du potentiel d'action et aussi la diminution de son amplitude pendant l'apparition de la fatigue périphérique. Cette lenteur de propagation du potentiel d'action, au niveau de l'axone moteur, a engendré la diminution de recrutement du nombre des faisceaux musculaires dépolarisés, ainsi qu'une diminution de l'amplitude de la réponse musculaire (Grossman et al., 1979). Une autre étude menée par Hargreaves et al, 1998, a montré qu'une diminution au niveau de l'excitabilité de la membrane musculaire (sarcolemme) est à l'origine de la variation de l'amplitude de la réponse musculaire.

Au niveau cellulaire, la diminution de l'amplitude de la réponse musculaire a été causée suite à un déséquilibre ionique, plus précisément par une défaillance au niveau de l'activité des pompes  $Na^+$ ,  $K^+$ .

Cette insuffisance d'activités des pompes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  a entraîné une augmentation de la concentration extracellulaire en potassium  $[\text{K}^+]$  et aussi l'augmentation de la concentration intracellulaire en sodium  $[\text{Na}^+]$ . Cette variation de concentration de chaque côté de la membrane musculaire a engendré une diminution de la force et une installation de la fatigue (Allen et al., 2008)

En plus de la variation des concentrations des  $[\text{K}^+]$  et  $[\text{Na}^+]$  intracellulaire et extracellulaire, il y a un 2<sup>ème</sup> facteur impliqué dans l'apparition de la fatigue, c'est le mécanisme par lequel l'activité électrique dans les tubules transverses conduit à la libération du  $\text{Ca}^{2+}$ .

Durant ce processus, des modifications électriques au niveau des tubules transverses surviennent, ainsi que des variations de la configuration du réticulum sarcoplasmique (Allen et al., 2008 ; Bellinger et al., 2008). Plus précisément, ces changements sont expliqués par une fuite de  $\text{Ca}^{2+}$  causée par l'hyperpolarisation des réticulums sarcoplasmiques.

Cette fuite a mené à un déséquilibre entre la libération de  $\text{Ca}^{2+}$  et sa recapture par les réticulums sarcoplasmiques, entraînant ainsi une défaillance lors de la création des ponts actine-myosine et provoquant une apparition de la fatigue périphérique (Westerblad & Allen, 1991; Allen & Westerblad, 2001)

Un 3<sup>ème</sup> facteur responsable de l'installation de la fatigue, est l'accumulation des métabolites, tel que le rassemblement des ions  $\text{H}^+$  à l'intérieur de la cellule causant une diminution de la libération du  $\text{Ca}^{2+}$  par le réticulum sarcoplasmique (Fitts, 1994; Favero et al, 1995). De plus le phosphate inorganique (Pi) présent lors de l'hydrolyse de l'ATP et de la phosphocreatine (PCr) présente un obstacle pour la création des ponts actine-myosine.

Ce phosphate (Pi) infiltre dans les réticulums sarcoplasmiques et s'attache avec le  $\text{Ca}^{2+}$  pour former le phosphate de calcium. Cette liaison entre (Pi) et ( $\text{Ca}^{2+}$ ) empêche la formation des ponts actine-myosine et provoque ainsi l'installation de la fatigue (Westerblad et al., 1991 ; Allen et al., 2002; Steele & Duke, 2003 ; Allen et al., 2008).

Selon Hakes et Ouellet (2014), la fatigue, en générale, est une sensation fréquente surtout chez les sportifs et qui peut être divisée sur quatre catégories selon le degré de sévérité :

- fatigue normale : elle se manifeste par une baisse de performance juste après la réalisation d'un effort intense et qui nécessite un repos d'une seule journée.
- fatigue aiguë : c'est une fatigue passagère qui nécessite un repos complet entre deux et trois jours.
- fatigue persistante (overreaching) : elle est caractérisée par une diminution de la quantité de travail et la performance sportive suite à un manque de récupération.

Une diminution du volume et de l'intensité du travail sont nécessaire afin de corriger le déséquilibre et un repos complet de quelques jours à quelques semaines est aussi suggéré afin de permettre un retour à l'état normal (Kraemer et Rogol, 2008).

- fatigue chronique : (overtraining) ou bien le surentrainement, est la principale cause des blessures chez les sportifs, elle se manifeste par une baisse importante de la performance sportive. Pour éviter ce surentrainement, il est nécessaire d'effectuer une réduction importante de la CE pendant quelques semaines à quelques mois (Kraemer et Rogol, 2008).

#### 2.3.4.2 Surentrainement

Sur le plan physiologique, on peut qualifier le surentrainement par un état de déséquilibre entre les charges d'entraînement que l'athlète subit sous forme de stress (physiologique et psychologique), les périodes de récupération et la capacité de l'individu à gérer ces charges (Nederhof *et al.*, 2006).

Plusieurs auteurs décrivent le surentrainement comme étant un désordre général dû à une augmentation intensive du volume d'entraînement qui touche à la fois le système énergétique, suite à une non-régénération des réserves d'énergie (glucose, protides, lipides) durant les périodes de récupération, ainsi que sur le système hormonal causé par des troubles de la sécrétion hormonale du système nerveux. (Nederhof *et al.*, 2006).

Plusieurs sportifs de haut niveau sont passés par des périodes surchargées physiquement et mentalement au cours de leur carrière sportive (McKenzie, 1999). Durant ces périodes, il y a eu une apparition d'une sensation de fatigue chronique qui a entraîné une chute de la performance sportive (McKenzie, 1999).

Selon l'expression d'Israël (1976), le surentrainement est *«l'incapacité de l'organisme à maintenir stable la balance entre la fatigue et la récupération»*.

Pour certains, notamment (MacKinnon, 2000): *«c'est un désordre neuroendocrinien caractérisé par une réduction de la performance en compétition et une inaptitude à maintenir une charge d'entraînement ; fatigue persistante, réduction de la sécrétion de catécholamines, problèmes de santé fréquents, perturbation du sommeil et de l'humeur »*.



#### **2.3.4.2.1 Détection du surentrainement**

Différents auteurs ont conclu que la détection précoce du surentrainement est actuellement impossible surtout en cas d'absence d'indicateurs ou de marqueurs biologiques et physiologiques réels (MacKinnon, 2000; Baumert et al., 2006; Coutts et al., 2007). Par contre, il a été démontré que certains symptômes physiologiques et psychologiques peuvent agir comme des paramètres de détection précoce du surentrainement (Coutts et al., 2007). La détection de ces symptômes a été associée à une baisse de performance physique et aussi à une réduction de l'état émotionnel (humeur, motivation) chez des sportifs (Shephard et Shek, 1998).

De plus, des études ont montré que le surentrainement :

- atteint la plupart des sportifs de haut niveau à un moment ou à un autre de leur carrière, dont 65% chez les coureurs de fond (McKenzie, 1999)
- est la principale cause de blessures chez les triathlètes (Pen et al., 1996)

*«Le surentraînement reste plus facilement détecté par une diminution de la performance sportive et des altérations de l'humeur que par des changements des fonctions immunitaires ou physiologiques» (Shephard et Shek, 1998).*

#### **2.3.4.2.2 Prévention du surentrainement**

Les athlètes fournissent beaucoup d'effort au cours des entraînements et des compétitions, dans le but de gagner et de performer mais malheureusement ils ont de la difficulté à s'autoréguler correctement afin de critiquer toute augmentation des charges d'entraînement et ils préfèrent continuer à s'entraîner (Chamari, 2011). Or cette élévation du volume et l'intensité des entraînements peuvent engendrer des cas de surentraînements et des blessures graves. Donc il est nécessaire que les entraîneurs

et les préparateurs physiques suivent quelques exigences efficaces pour prévenir le surentrainement (Chamari, 2011).

La stratégie utilisée par plusieurs auteurs est présentée ci-dessous :

- utiliser un suivi précis et individuel, ce suivi doit prendre en considération la quantification de la CE de chaque joueur, l'état de sa condition physique et émotionnelle, ses périodes de récupération et sa performance sportive (Boisseau *et al.*, 2009)
- éviter les entraînements monotones (Foster *et al.*, 2001).
- diminuer le volume et l'intensité durant les semaines difficiles (Coutts *et al.*, 2007).

#### **2.3.4.3 Blessure sportive**

Les blessures sportives sont nombreuses, la plupart surviennent lors de la pratique des sports que ce soit durant les entraînements ou les compétitions (Fuller *et al.*, 2006).

Plusieurs auteurs ont indiqué que certains sports sont décrits comme des activités physiques à haut risque qui peuvent engendrer des blessures articulaires et musculaires (Drawer et Fuller, 2002 ; Rainville *et al.*, 2010). Parmi ces sports, il y a :

- les sports extrêmes,
- les sports de contact tels que le soccer, le basketball et le football américain.

D'ailleurs une étude américaine menée par Hootman *et al.* (2007) a démontré que parmi 15 sports, le soccer et le football américain présentent le taux le plus élevé de blessures.

Par contre au Québec et selon une enquête qui a été faite sur les blessures dans le sport amateur, on découvre que le taux de blessures qui a été causé par la pratique du



soccer présente 45/1000 participants tandis que le taux le plus important des blessures revient au hockey avec 72/1000 participants (Rainville *et al.*, 2010).

De plus les consultations d'urgence suite à des blessures survenues lors de la pratique du soccer représentait 4.6% des cas, 16.1%, pour le vélo, 8.5% pour le hockey et 7.2% pour le ski alpin (Rainville *et al.*, 2010).

#### **2.3.4.3.1 Les Types de blessures**

La «blessure sportive » a été définie de différentes manières dans les recherches scientifiques de médecine du sport, la plupart des définitions décrivent la blessure sportive comme suit : la blessure sportive est l'incapacité psychologique et physique de l'athlète à pratiquer une activité physique bien déterminée.(Arvinen-Barrow et Walker, 2013).

Même au soccer, les chercheurs n'ont pas trouvé une définition claire et nette de ce terme, sauf qu'après des discussions informelles au cours du 1er Congrès mondial sur la prévention des blessures sportives à Oslo en juin 2005, la Fédération internationale de football et l'Association d'évaluation médicale et de recherche (F-MARC) ont accompli une mission à Fuller *et al.* (2006) afin de répondre à quelques définitions et questions imprécises concernant les blessures au soccer.

Selon Fuller *et al.* (2006), une blessure au soccer est définie comme suit :

*« Toute plainte physique exprimée par un joueur lors d'un match ou d'un entraînement, sans prendre en considération des besoins en soins médicaux ni la durée de l'arrêt de l'activité de soccer.*

*Une blessure qui exige qu'un joueur recevant des soins médicaux est considérée comme une blessure avec des soins médicaux , et une blessure qui empêche un*

*joueur de participer pleinement aux entraînements ou aux matchs de soccer à venir comme blessure avec arrêt »*

Fuller *et al.* (2006) ont défini la gravité de la blessure comme suit :

*«Le nombre de jours qui se sont écoulés depuis la date de la blessure jusqu'à la date du retour du joueur pour participer pleinement aux entraînements et sa disponibilité pour un match »*

En tenant compte des différentes définitions de la blessure sportive, plusieurs auteurs ont classifié les blessures selon des divers stades de sévérité (Thompson *et al.*, 1987; Woods *et al.*, 2004).

Tout d'abord, Thompson *et al.* (1987) ont reparti la sévérité d'une blessure sur trois niveaux : i) une blessure mineure oblige un athlète de prendre un repos de 1 à 7 jours, ii) une blessure modérée nécessite un arrêt de 8 à 21 jours et iii) une blessure majeure exige un arrêt de plus de 21 jours.

Tandis que Woods *et al.* (2004) ont classé le niveau de sévérité d'une blessure sur quatre niveaux : i) légère entre 2 et 3 jours, ii) mineure entre 4 et 7 jours, iii) modérée entre 1 et 4 semaines et iv) majeure > 4 semaines.

En résumé, d'après la littérature scientifique, nous pouvons dire que ces dernières peuvent se présenter sous forme de microtraumatismes et aussi des macrotraumatismes qui touchent la plupart du temps le système locomoteur de l'athlète (les articulations, les ligaments, les os et les muscles)

- blessures articulaires : luxation
- blessures ligamentaires : entorse, tendinite
- blessures osseuses : fracture
- blessures musculaires : crampe, courbature, claquage.

#### **2.3.4.3.2 Blessures musculaires au soccer**

La majorité des blessures musculaires au soccer surviennent suite à une mauvaise gestion des charges d'entraînement (CE) et aussi à une insuffisance des périodes de récupération allouées aux joueurs (Fujita et Volpi, 2006). Ces deux paramètres sont à l'origine de l'apparition des cas de fatigue accrue et des cas de surentrainement (Fujita et Volpi, 2006). Ces derniers représentent les principaux facteurs de risque de blessures musculaires. (Fujita et Volpi, 2006).

Hawkins *et al.* (2001) constatent que 50% des blessures au cours d'un match de soccer surviennent lors des 15 dernières minutes d'une mi-temps, ainsi que plusieurs études ont constaté que les blessures sans contact varient de 28% à 76% de l'ensemble des blessures au soccer, et que 58% des blessures au soccer touchent les tissus musculaires des membres inférieurs et, plus précisément, au niveau de la cuisse (Dupont *et al.*, 2010; Hawkins *et al.*, 2001; Herrero *et al.*, 2014). Par exemple, Ekstrand *et al.*, (2013) évoquent que parmi les blessures les plus fréquentes chez le joueur de soccer professionnel, on trouve les blessures aux ischio-jambiers (12.8%), les blessures aux muscles adducteurs (9%), les entorses de la cheville (7%), les blessures aux quadriceps (5%), les blessures aux mollets (4.5%) et les entorses du genou (4.3%), les auteurs expliquent aussi que les blessures aux ischio-jambiers sont les plus courantes et celles qui nécessitent un temps de repos total plus long que les autres groupes musculaires.

D'autres études scientifiques ont évoqué les blessures au niveau des ischio-jambiers comme Henderson *et al.* (2010) qui montrent que 12% des blessures sont liées aux ischio jambiers lors des deux saisons de la première ligue anglaise, de même Ueblacker *et al.* (2015) ont mentionné que parmi 15 blessures musculaires qui exigeaient 223 jours de repos total, il existait des blessures au niveau des ischio-

jambiers et qui représentaient une moyenne de 90 jours d'arrêt de pratique et 15 matchs manqués par le club et par saison.

### **2.3.5 Les programmes de prévention des blessures**

Au soccer, les blessures sont considérées comme le principal ennemi de l'athlète, elles l'obligent à interrompre sa pratique sportive, elles sont à l'origine de la diminution de la performance sportive (Opar *et al.*, 2012).

Afin de prévenir et réduire le nombre des blessures sans contact au soccer, de nombreux programmes de prévention de blessures ont été mis à la disposition des entraîneurs et des joueurs pour différents sports collectifs (O'Brien et Finch, 2014a, 2014b).

D'ailleurs Herman *et al.* (2012) ont cité dans leur ouvrage les programmes de prévention les plus utilisés dans le domaine sportif et ils ont évoqué l'importance de chacun de ces programmes de prévention sur la diminution du nombre des blessures. Parmi ces programmes:

#### **2.3.5.1 FIFA 11 et FIFA 11+**

C'est le premier programme de prévention de blessures qui a été élaboré par le Centre d'évaluation et de recherche médicale de la FIFA (F-MARC) en 2003 ; ce programme a été utile et bénéfique quant à la diminution du nombre des blessures (Junge *et al.*, 2011).

En 2006, suite à des expériences menées par des spécialistes du soccer sur le programme «FIFA 11 », une nouvelle version « FIFA 11+ » a été développée par le Centre d'évaluation et de recherche médicale de la FIFA (F-MARC) et le Centre de recherche en traumatologie sportive d'Oslo pour la prévention de blessures au soccer.

Le programme « FIFA 11+ » est composé de plusieurs exercices qui renforcent le tronc et les membres inférieurs, améliore l'équilibre, l'agilité et la coordination. Le programme doit se faire deux fois par semaine, il comporte trois parties qui durent environ 20 minutes :

- des exercices de courses lentes combinées à des étirements et à des contacts contrôlés avec un partenaire ;
- six exercices axés sur la puissance du tronc et des membres inférieurs, sur l'équilibre, la pliométrie et l'agilité, chaque exercice comprend trois niveaux de difficulté ;
- des exercices de courses plus rythmées, combinées à des démarrages et à des reprises d'appuis.

Plusieurs études ont montré l'efficacité du programme « FIFA 11+ » dans la prévention et la diminution des blessures au niveau des membres inférieurs au soccer (Kiani *et al.*, 2010; Soligard *et al.*, 2008).

#### **2.3.5.2 HarmoKnee**

Ce programme a été créé en 2006 par le médecin de l'équipe nationale suédoise du soccer « docteur Kiani ». Il est recommandé d'effectuer le harmoknee trois fois par semaine, ce dernier est composé de cinq parties (un échauffement, des exercices d'activation musculaire, des exercices d'équilibre, des exercices de renforcement musculaire, des exercices de stabilité) qui durent entre 20 et 25 minutes au total.

Les résultats concernant la réduction des nombres des blessures au niveau du genou après l'exécution de ce programme, sont bénéfiques comme il a été démontré par diverses recherches scientifiques (Daneshjoo *et al.*, 2012; Kiani *et al.*, 2010; Soligard *et al.*, 2008).

### **2.3.5.3 Prevent injury and Enhance Performance (PEP)**

Le Santa Monica Sports Medicine Research Foundation (SMSMF) a élaboré ce programme spécifique au soccer afin de prévenir les blessures au niveau du genou et plus précisément des ligaments croisés. Il est préférable d'appliquer le (PEP) trois fois par semaine.

Ce programme comporte un échauffement, des exercices de renforcement, de pliométrie d'agilité et d'étirement. La littérature a confirmé l'efficacité du programme pour diminuer le taux des blessures au niveau des ligaments croisés dans plusieurs ouvrages (Mandelbaum *et al.*, 2005; Silvers *et al.*, 2013).

### **2.3.5.4 Knee Injury Prevention Program (KIPP)**

Le Lurie Children's Institute for Sports Medicine de Chicago a développé ce programme dans le but de prévenir les blessures du genou. Il est constitué d'un ensemble d'exercices d'une durée totale environ 15 minutes et ont pour but l'amélioration de l'équilibre dynamique des joueurs lors de la réalisation de diverses positions articulaires. À part les exercices d'équilibre, le (KIPP) inclut aussi des exercices de renforcement, d'agilité, de pliométrie et d'étirements qui ont été efficaces dans la baisse du nombre des blessures au niveau des membres inférieurs dans différents sports dont le soccer et le basketball (LaBella *et al.*, 2011).

Il y a aussi d'autres programmes de prévention comme « The Waldén's Program » qui a été créé en 2005 par des membres des organisations médicales de l'Association suédoise du soccer et aussi la Fédération suédoise de handball, la Fédération suédoise de basketball et la Fédération suédoise de floorball. Il est composé d'exercices de stabilité du tronc et du contrôle du genou, et a pour but la diminution du taux de blessures (Walden *et al.*, 2012).



Finalement le « AKP PTP » ou bien le « Anterior Knee Pain Prevention Training Program - US Military », il a été démontré que ce programme est efficace dans la réduction des douleurs au niveau du genou chez des soldats (Coppack *et al.*, 2011).

La majorité des programmes de prévention incluent un échauffement, une partie de renforcement et une partie spécifique aux sports pratiqués (Michaelidis et Koumantakis, 2014) et l'efficacité de ces programmes n'est obtenue que lorsque la régularité et la bonne exécution des exercices sont respectées, car elles permettent aux athlètes d'optimiser certaines qualités physiques et d'avoir des résultats bénéfiques à la fin de la saison (Fortington *et al.*, 2015).

La littérature démontre également que la réalisation des programmes de prévention peut être faite à trois moments : soit avant la saison (90 min par séance), au début de la saison (15 à 20 min par séance) ou bien tout au long de la saison avec un volume modéré (10 à 20 min par séance). Or la majorité des entraîneurs préfèrent l'application du programme tout au long de la saison, car celle-ci permet une meilleure continuité et efficacité et elle accorde aux entraîneurs plus de temps pour qu'ils puissent terminer leur programme d'entraînement (Herman *et al.*, 2012).

Nous concluons, suite à la littérature, que tous ces programmes ont des facteurs en commun, tout d'abord la prévention des blessures par la répétition progressive d'une variété d'exercices plusieurs fois par semaines pour améliorer les différentes qualités physiques.

### **2.3.6 L'importance de la récupération au soccer**

Le but initial de l'entraînement est d'améliorer la performance tout en apportant des adaptations positives à la condition physique. Or, la succession des séances d'entraînement peut engendrer des effets négatifs menant à la fatigue musculaire et mentale, au surentrainement et aux blessures (Foster 2001; Chamari, 2011).



Le soccer moderne demande aux entraîneurs d'accorder une grande importance aux périodes de récupération afin de diminuer les risques de blessures au cours des entraînements et des matchs (Chamari, 2011).

Or, la majorité des entraîneurs refusent d'accorder du repos aux joueurs surentraînés par peur de perdre leur niveau de performance. En fait, ils croient que la seule méthode efficace qui sert à améliorer la performance sportive est de s'entraîner davantage (Chamari, 2011).

La récupération aide l'organisme à réduire le temps nécessaire pour régénérer les stocks d'énergie qui ont été dépensés durant l'exercice physique et aussi de rééquilibrer la balance entre les charges d'entraînement et les périodes de récupération (Guezennec, 1996; Chamari, 2011).

*«La période de récupération peut se définir par le temps nécessaire pour que les différents paramètres physiologiques modifiés par l'exercice rejoignent les valeurs de l'état de repos»* (Guezennec, 1996).

Au soccer, par exemple il y a deux types de récupération :

- La récupération active ;
- La récupération passive.

#### **2.3.6.1 La récupération active**

La récupération active se fait seulement après la réalisation d'un effort de forte intensité durant lequel l'athlète effectue un effort physique à faible intensité de 4 à 15 minutes (course) dans le but d'éliminer les déchets métabolites qui ont été créés suite à la contraction musculaire (Stanford et coll, 1978).

D'autres études scientifiques ont démontré que la réalisation d'un effort physique de faible intensité (récupération active) de 4 min sur ergocycle (40% VO<sub>2</sub>max) juste

après un sprint de 30s favorise une plus grande puissance durant le 2<sup>e</sup> sprint (Bogdanis *et al.*, 1996).

Castagna *et al.* (2008) ont confirmé les résultats de l'étude de Bogdanis, en montrant que le pourcentage de la récupération doit être inférieure ou égale à 40% de la VO<sub>2</sub> max et en affirmant que le choix de l'intensité de la récupération est très important afin d'éviter toute sorte de fatigue additionnelle.

#### **2.3.6.2 La récupération passive**

Ce type de récupération est composé de plusieurs techniques telles que le sommeil, l'électrostimulation, les massages, les étirements et l'hydrothérapie.

La littérature a favorisé l'importance de la récupération dans le domaine sportif (Millet, 2009). Cependant, de nombreuses questions se posent encore sur la validité de l'utilisation de quelques techniques (Millet, 2009).

#### **2.4.6.2.1 Les Étirements**

C'est une méthode de récupération qui a pour but d'améliorer la souplesse du muscle squelettique, d'augmenter l'amplitude articulaire et de diminuer le risque des blessures (Maquaire, 2005).

Certaines études ont montré que grâce à l'étirement, le muscle retrouve son efficacité suite à des pressions importantes sous forme de contractions répétitives (Guissard, 2000).

Pourtant, il y a encore une divergence d'opinions concernant cette technique de récupération dans le monde sportif (Maquaire, 2005).

Beckett *et al.* (2009) ont réalisé une étude sur l'effet des étirements passifs et sur la capacité à répéter des sprints et des changements de direction. Les résultats de cette

dernière ont prouvé que les étirements réalisés durant la période de récupération ont diminué les performances lors des sprints suivants.

#### **2.3.6.2.2 Les massages**

Le massage sportif post entraînement est une technique de récupération très utilisée dans le sport de haut niveau (Weineck, 1998).

Weineck (1998) démontre l'efficacité des massages en ce qui concerne l'élimination des déchets métabolites, la diminution rapide du tonus musculaire ainsi que l'optimisation de la performance sportive et la récupération.

Cependant Hemmings *et al.* (2000) affirment que l'efficacité du massage après la réalisation d'un exercice anaérobie est minime. En fait, ils trouvent que les massages ont un effet mental sur la perception de la fatigue.

#### **2.3.6.2.3 L'électrostimulation**

C'est une autre technique de récupération utilisée dans le domaine sportif, elle adopte le courant électrique à une basse fréquence pour stimuler le muscle squelettique. Cette stimulation va provoquer un cycle répétitif de contraction-relâchement afin de maintenir une bonne circulation fluide du sang et aussi un meilleur retour veineux (Cometti, 2013).

#### **2.3.6.2.4 L'hydrothérapie**

Cette technique consiste à immerger le corps humain ou bien une de ses parties dans l'eau pour calmer les douleurs et favoriser une meilleure récupération (Cometti, 2009). Il y a deux types d'hydrothérapie :

- immersion en eau froide seule : elle favorise la diminution de la température corporelle et aussi une baisse de la perception de la fatigue. (Cometti, 2009).

- immersion en eau chaude /froide : elle accorde une meilleure circulation sanguine grâce à la stimulation des vaisseaux sanguins, cet effet de vasoconstriction et vasodilatation va permettre de diminuer l'œdème au niveau du muscle (Cometti, 2009).

Une étude scientifique menée par French *et al.*, (2008) montre les effets de bains à températures contrastée et de vêtements de compression sur la performance musculaire : l'utilisation des bains chaud-froid alternés avec le port des vêtements de compression n'a pas amélioré la récupération après un effort intense, tandis que l'alternance des bains chaud-froid a permis d'atténuer les sensations de douleur au niveau du muscle squelettique juste après une heure de l'effort effectué.

À travers ce chapitre, nous avons expliqué et défini les différentes composantes et les différents facteurs qui sont en relation avec notre étude de recherche et notre hypothèse.

## **CHAPITRE III**

### **MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE**

La présente étude a abordé le sujet de quantification et du contrôle de la CE d'une équipe de soccer universitaire, grâce à l'utilisation de la méthode séance-RPE. Elle s'est déroulée au centre sportif de l'UQAM, au complexe sportif Claude -Robillard et au centre sportif Marie-Victorin.

#### **3.1 Échantillonnage**

Dans cette étude, l'intérêt est centré d'abord sur l'application d'une méthode de quantification de la CE (séance- RPE) sur la prévention des cas de surentrainement et aussi des blessures musculaires parmi les joueurs de l'équipe de soccer de l'UQAM durant onze semaines.

En second lieu, le travail est axé sur la comparaison des résultats de deux paramètres qui sont : le nombre de blessures musculaires et la vitesse sur 30 mètres entre les saisons hivernales 2014 et 2015.

Le choix de notre population d'étude a ciblé des joueurs athlètes appartenant à l'équipe masculine de soccer universitaire durant la saison d'hiver 2015. Ces joueurs s'entraînaient dans leur équipe à raison de cinq séances d'entraînement par semaine et jouaient un match la fin de semaine.

Notre échantillon est constitué de dix-huit joueurs ( $n=18$ ) âgés entre 18 ans et 30 ans. Les caractéristiques anthropométriques sont présentées au Tableau 3.1. Tous les joueurs étaient informés du protocole des tests et ils avaient signé un formulaire de consentement de participation avant le début l'étude. En se référant aux études précédentes dans le domaine sportif et plus précisément sur l'utilisation de la méthode séance-RPE, on trouve que la majorité de ces dernières a été effectuée à

partir d'un échantillon réduit comme c'était le cas avec (Foster *et al.*, 2001) avec 14 joueurs de basketball.

Pour notre étude, des différents tests de mesures anthropométriques et de la composition corporelle ont été utilisés vu qu'ils sont appliquées depuis de longues années en raison de leur fiabilité et de leur validité en milieu sportif.

Le tableau 3.1 ci-dessous présente les mesures anthropométriques individuelles de chaque participant durant notre étude.

**Tableau 3.2:** Les mesures anthropométriques des participants

	ÂGE	POIDS (kg)	TAILLE (cm)	$\Sigma$ 7 PLIS (J&P)	$\Sigma$ 6 PLIS (Yu)	% BODYMETRIX	% GRAISSE YUHASZ	% MUSCULAIRE	POIDS MUSCULAIRE	ENDOMORPHIE	MESOMORPHIE	ECTOMORPHIE
<b>P 1</b>	22	66.8	1.75	51	45.0	7.8	7.3	52.9	35.3	1.9	3.7	3.0
<b>P 2</b>	22	74.8	1.66	104.0	84.0	16.3	11.4	48.1	36.0	3.5	6.8	0.6
<b>P 3</b>	19	66.8	1.65	91.5	75.5	13.7	10.5	48.1	32.2	3.3	5.7	1.3
<b>P 4</b>	23	80.4	1.83	60.0	52.0	9.2	8.0	54.6	43.9	2.4	3.3	2.5
<b>P 5</b>	19	69.7	1.76	52.0	47.0	8.3	7.5	52.3	36.4	2.0	3.7	2.7
<b>P 6</b>	24	69	1.74	54.5	50.5	9.9	7.9	51.9	35.8	2.2	4.0	2.4
<b>P 7</b>	23	83.6	1.83	59.5	54.5	8.9	8.3	53.4	44.7	2.3	3.8	2.1
<b>P 8</b>	23	73.3	1.75	56.8	50.0	6.9	7.8	53.0	38.9	2.5	5.0	2.0
<b>P 9</b>	22	82.8	1.78	69.5	61.5	11.9	9.0	51.5	42.7	3.3	5.1	1.4
<b>P 10</b>	21	70.7	1.78	60.5	56.5	9.1	8.5	51.7	36.6	2.6	3.7	2.8
<b>P 11</b>	22	83.6	1.84	86.0	45.0	13.1	9.9	48.6	40.6	3.8	3.7	2.2
<b>P 12</b>	25	64.1	1.75	35.0	29.0	5.8	5.6	55.3	35.5	1.3	3.6	3.3
<b>P 13</b>	22	70.7	1.69	72.0	60.0	11.8	8.9	51.0	36.1	2.7	4.9	1.3
<b>P 14</b>	23	70.3	1.76	48.0	41.0	6.7	6.9	52.6	37.0	1.8	4.4	2.6
<b>P 15</b>	23	81.4	1.75	88.0	74.0	16	10.4	49.3	40.1	4.0	5.7	1.1
<b>P 16</b>	22	73	1.79	41.5	33.5	6.9	6.1	55.0	40.1	1.7	4.5	2.8
<b>P 17</b>	20	81	1.79	72	72.4	7.8	7.5	47.5	38.1	2.0	4.2	1.5
<b>P 18</b>	25	73.7	1.83	41	31.5	11.5	6.7	52.0	37.2	1.7	3.7	2.2
<b>Moyenne</b>	22,2	74.33	1,8	63,5	53.49	10.08	8.23	51.6	38.17	2,5	4,4	2,1
<b>Écart type</b>	1.69	6.11	0.05	21.71	16.13	3.18	1.56	2.41	3,28	0,8	0.94	0.74



## **3.2 Les techniques utilisées pour l'expérimentation**

### **3.2.1 Procédures**

Avant d'adopter la méthode de perception de l'effort(séance-RPE) par l'équipe universitaire de soccer de l'UQÀM, on a contacté M.Athanasio Detounis, préparateur physique de l'équipe, et Mme.Kelly Rindress, physiothérapeute de l'équipe afin de nous fournir les données concernant les blessures musculaires et le test de vitesse sur 30m, en se référant aux mêmes critères de notre échantillon de 2015. Le tableau 3.2, ci-dessous, présente le nombre et le type des blessures durant la saison hivernale 2014

**Tableau 3.3.** Le nombre et le type de blessures durant la saison hivernale 2014

<b>Nombre de blessures</b>	<b>Type de la blessure musculaire</b>
6	- 2 étirement au ischio-jambier
	- 1 étirement au mollet
	- 1 étirement aux aducteurs
	- 1 Instabilité au niveau de la hanche
	- 1 étirement au niveau du psoas iliaque

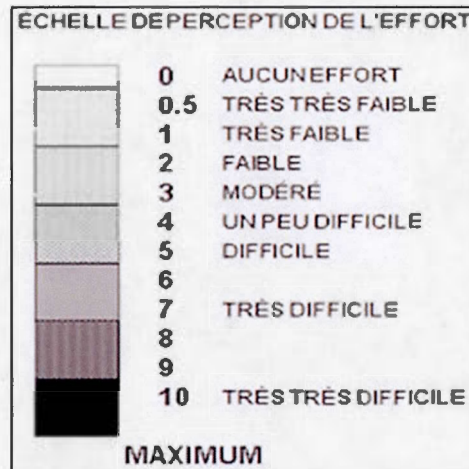
Le tableau 3.3 présente les résultats du test de la vitesse sur 30m durant la saison hivernale 2014.

**Tableau 4.3. Résultats du test de vitesse durant la saison hivernale 2014**

<b>Joueurs</b>	<b>Pre-test</b>	<b>Post-test</b>
<b>J1</b>	4,28s	4,24s
<b>J2</b>	4,2s	4,34s
<b>J3</b>	4,3s	4,35s
<b>J4</b>	4,37s	4,33s
<b>J5</b>	4,2s	4,36s
<b>J6</b>	4,53s	4,51s
<b>J7</b>	4,34s	4,35s
<b>J8</b>	4,3s	4,3s

Pour l'étude actuelle, l'intervention a débuté durant la semaine du 6 janvier 2015 et s'est achevée durant la semaine du 26 mars 2015. Elle a été accomplie sur une période de onze semaines, plus précisément durant la saison hivernale universitaire de soccer 2015.

Tout d'abord des tests anthropométriques et physiques ont été effectués une semaine avant le début de l'expérimentation. Pendant la même semaine, une séance d'entraînement de démonstration a été effectuée afin de permettre aux participants de se familiariser avec l'attribution des valeurs qui se trouvaient sur l'échelle de perception de l'effort modifiée par (Foster *et al.*, 2001).



**Figure 3.1 :** Échelle Borg CR-10 modifiée de Foster, Source : Foster et al. (2001)

### 3.2.2.1 Test physique

L'objectif principal de la réalisation du test de vitesse sur 30 mètres avant et après la saison hivernale était de voir l'évolution physique des participants ainsi que de comparer les résultats de l'année 2014 et 2015.

Une fois les mesures anthropométriques effectuées, les participants réalisaient le test de vitesse sur 30 mètres. C'est un test de terrain qui est réalisé dans le cadre d'une course de vitesse sur une distance de 30 mètres et qui a pour but d'évaluer la vitesse maximale du participant.

#### 3.2.2.1.1 Matériel requis

- une piste de 30 mètres ;
- quelques cônes pour créer les deux lignes (départ- arrivée) espacées de 30 m ;
- quatre cellules photoélectriques (placées suivant les instructions fournies) ;
- un ruban de mesure.

### **3.2.2.1.2 Déroulement**

Le participant pouvait commencer son test quand il se sentait prêt, ce dernier avait courir le plus vite possible pour atteindre la ligne d'arrivée en s'assurant de ne pas ralentir sa course avant de dépasser les 30 mètres.

### **3.2.2.1.3 Quelques points importants**

1. le participant ne devait pas décélérer sa course tant qu'il n'a pas franchi la ligne d'arrivée ;
2. le participant devait garder son tronc droit et devait utiliser ses bras pour maintenir une bonne gestuelle de course ;
3. le parcours devait assurer suffisamment d'espace après la ligne d'arrivée pour permettre aux participants de traverser la ligne d'arrivée à pleine vitesse et ensuite ralentir leur course ;
4. il était important de s'assurer que les participants soient bien échauffés pour réaliser le test ;
5. le meilleur résultat des trois essais, 0.1 près ;

chaque participant a eu le droit de répéter le test trois fois après avoir pris un repos de 2 à 3 minutes entre chaque réalisation.

### **3.2.2.2 Programme d'entraînement**

Le programme d'entraînement a été préparé et planifié par le préparateur physique de l'équipe de soccer de l'UQÀM, M. Athanasio Detounis.

Chaque séance de musculation a comporté un circuit de trois à six exercices :

- Séries : 3-6
- Répétitions : 3-8
- Tempo : 3-0-1
- Récupération entre les séries : 2-3min

- Récupération entre les exercices : 30-45s

Les exercices sont sommairement décrits dans la section suivante.

#### **3.2.2.2.1 Renforcement musculaire**

Les séances de renforcement musculaire étaient composées d'exercices de musculation fonctionnelle et d'exercices de musculation sollicitant à la fois les membres supérieurs, les membres inférieurs ainsi que les muscles de la ceinture pelvienne.

Le responsable de la préparation physique de l'équipe de soccer de l'UQAM, M. Athanasio Destounis, a cherché à mettre en évidence le volume des entraînements tout en réalisant des exercices d'endurance, de force (excentrique) et de puissance musculaire ainsi que des exercices de pliométrie et de vitesse.

#### **3.2.2.2.2 Entraînement en capacité aérobie**

En appliquant le programme d'entraînement de M. Athanasio Destounis, les séances d'entraînement en capacité aérobie consistaient à réaliser une course continue sur tapis roulant de 32 minutes à des intensités différentes :  $4 * ((4 \text{ min à } 60\% \text{ d'une VMA de } 18\text{km/h}) + (4 \text{ min à } 90\% \text{ d'une VMA de } 18\text{km/h}))$ . c'est-à-dire faire 32 minutes en alternant deux vitesses de course (4 min à 10.8km/h) et (4 min à 16.2km/h).

#### **3.2.2.2.3 Entraînement en puissance**

En se basant sur le programme d'entraînement de M. Athanasio Destounis, les séances d'entraînement en puissance sur un tapis roulant non motorisé (HiTrainer Bromont, Québec) consistaient à alterner des séquences de course à haute intensité avec des périodes de récupération active (marche) de courte durée (chaque joueur avait son propre entraînement personnalisé).

#### **3.2.2.2.4 Entraînement technico-tactique**

En suivant plan d'entraînement de M. Athanasio Detounis, l'entraînement technico-tactique se composait en grande partie d'exercices de conservation de la balle sous forme de plusieurs variantes et chaque exercice touchait trois aspects:

- physique : en jouant sur la grandeur de l'espace utilisé et le nombre des joueurs ;
- technique : en limitant le nombre de touches de balle par joueur et par équipe ;
- tactique : en ajoutant des limites ou des variantes lors de l'exécution de l'exercice.

*Nota* : cette étude n'est que la première partie d'une programmation d'entraînement annuelle.

#### **3.2.2.3 Application de la méthode seance-RPE**

Tout au long de notre étude et après 30 minutes à la fin de chaque séance d'entraînement et à chaque match, une question a été posée à chaque participant concernant sa propre perception de l'effort en utilisant l'échelle de Borg qui a été modifiée par Foster (0-10). dans le but de quantifier la CE de chaque participant et de toute l'équipe.

Par la suite, une collecte des réponses (la note de l'effort perçu) a été réalisée afin quantifier la CE afin de faire un suivi individuel et précis de l'état de santé et de l'état de forme physique de chaque participant ainsi toute l'équipe.

Au début, on a commencé par quantifier la CE quotidienne de tous les joueurs et de l'équipe, par la suite, à l'aide de cette valeur de la CE, on a calculé les indicateurs d'adaptation positive et négative liés à l'entraînement (monotonie, contrainte et fitness).



En se fondant sur ce qui a été mentionné par Foster dans son ouvrage (1998) concernant les deux indicateurs d'adaptation négative liés à l'entraînement (monotonie, contrainte), on a pu détecter les joueurs surentraînés et blessés.

*«Une diminution de la capacité de performance et une apparition de la fatigue au-delà d'un indice de 2, surviennent des blessures au-delà de 2.5» (Foster, 1998).*

*«Une contrainte qui dépasse les 6000U.A par semaine peut causer l'apparition du surentraînement, ou bien peut entraîner des blessures au-delà de 10000 U.A par semaine» (Foster, 1998).*

À la fin de chaque semaine et durant toute la période de notre étude, des réunions avec le responsable de la préparation physique de l'équipe de soccer de l'UQAM ont été organisées, durant lesquelles un compte rendu sur l'état de forme physique des participants, plus précisément sur la CE, la monotonie et la contrainte de chaque participant a été présenté.

Suite à ces réunions hebdomadaires, le responsable de la préparation physique de l'équipe de soccer de l'UQAM a été avisé :

- De la charge hebdomadaire de toute l'équipe.
- Qu'il est nécessaire d'allouer des séances d'entraînement individualisées à faible intensité (récupération active et passive) pour les participants qui ont été mentionnés surentraînés. Ces séances avaient pour but la diminution de la CE, la régénération des stocks d'énergie dans le muscle squelettique et la diminution du risque de blessures.

Pendant ces séances, les participants faisaient des différentes techniques de récupération au centre sportif de l'UQAM sous forme d'hydrothérapie, de massages, d'étirements et d'électrostimulation.



Une semaine après la fin de la saison hivernale 2015, les participants ont réalisé le retest pour le paramètre vitesse sur 30 mètres.

### **3.2.3 Analyses statistiques**

Les résultats ont été présentés sous forme de tableaux et de figures et les indicateurs d'adaptation positive et négative liées à l'entraînement tels que la charge d'entraînement (CE), la monotonie (IM), la contrainte (IC) et le fitness (IF) ont été calculés et associés aux analyses. Des calculs des moyennes (MOY) et des écarts-types (ET) ont été réalisés pour les variables mesurées. Le test *t* de Student apparié a été réalisé afin d'identifier les différences entre les moyennes des diverses variables d'intérêts avant et après l'intervention. La différence entre le nombre de blessures obtenue en 2014 vs 2015 a été réalisé en utilisant les même joueurs (n=8) à l'aide du test *t* de Student non-apparié. Le niveau de signification a été établi à  $p \leq 0.05$ . Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS (IBM, ver 21).

## **CHAPITRE IV**

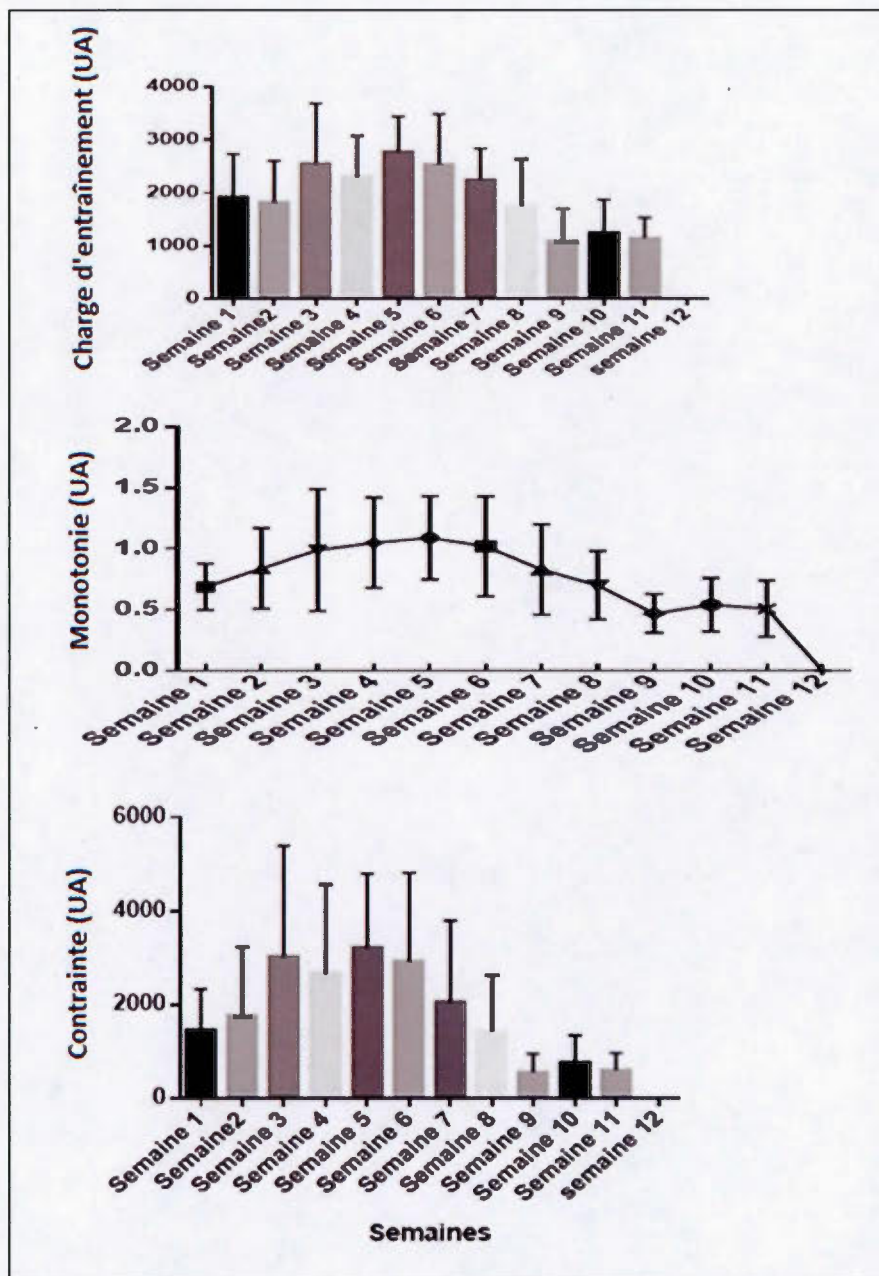
### **LES RESULTATS DE LA RECHERCHE**

Dans ce chapitre, nous exposons les résultats de notre étude de recherche analysés et interprétés.

#### **4.1 Les résultats de l'expérimentation**

##### **4.1.1 Le surentraînement**

La figure 4.1, ci-dessous, présente l'évolution des trois paramètres principaux dans la quantification et le contrôle de la charge d'entraînement (la charge d'entraînement, la monotonie et la contrainte) de l'équipe de soccer de l'UQÀM depuis le début de l'étude jusqu'à sa fin.



**Figure 4.1** Valeurs moyennes de la charge d'entraînement, la monotonie et la contrainte de l'équipe de soccer de l'UQAM lors de la saison hivernale 2015

En analysant la figure 4.1, nous pouvons dire que, en se basant sur l'étude de Foster (1998), ces indicateurs sont considérés comme des indicateurs d'adaptation positive et négative liés à l'entraînement qui permettent d'éviter le surentraînement et les cas de blessures.

À l'issue des données obtenues et présentées (Figure 4.1), on déduit qu'il y a eu plusieurs changements sur l'évolution des données moyennes des trois indicateurs (la charge d'entraînement, la monotonie et la contrainte) de toute l'équipe durant notre étude.

La période de notre étude a été divisée sur trois sous périodes, une sous période de préparation physique spécifique (2 premières semaines), une sous période de compétition (7 semaines) et une sous période de qualification pour le titre provincial (2 semaines).

On constate au cours de ces 11 semaines que les valeurs moyennes des charges hebdomadaires, de la monotonie et de la contrainte de l'équipe étaient supérieures pendant la période de compétition (semaine 5 = 2774.69UA, 1.09UA, 3217.76.UA) que durant la période de préparation physique spécifique et aussi la période de qualification pour le titre provincial.

Commençant par la période de préparation physique spécifique (2 semaines), on remarque que les valeurs moyennes des CE variaient entre (1827.68-1918.00 UA), en même temps, on constate une augmentation des valeurs moyennes de la monotonie (0.69-0.84 UA) ainsi que les valeurs moyennes de la contrainte (1458.92-1767.94 UA).



Pour la période de compétition, on constate qu'à partir de la première journée du championnat (semaine 3) jusqu'à l'avant dernière journée (semaine 8), les valeurs moyennes des CE variaient entre (2774.69-1755.00 UA), en parallèle les valeurs moyennes de la monotonie évoluaient entre (1.47-1.06 UA) ainsi que les valeurs moyennes de la contrainte différaient entre (1446.67-3217.76 UA).

Par contre au cours de la dernière journée du championnat (semaine 9), il y a eu une grande diminution de la valeur moyenne des CE, la monotonie et la contrainte (Semaine 9 = 1092.26, 0.49 & 661.43 UA).

On remarque, aussi, que les valeurs moyennes des trois indicateurs au cours de l'avant-dernière et de la dernière journée de la phase de qualification pour le titre provincial, ressemblaient presque à la valeur de la semaine qui a précédé (semaine 10= 1250.00,0.65&1196.79 UA & semaine 11= 1148.57, 0.50 & 782.13 UA).

Le tableau 4.1, ci-dessous, illustre toutes les données qui ont été recueillies durant les onze semaines de l'expérimentation: la charge d'entraînement hebdomadaire (CE Sem), la monotonie (IM), la contrainte (IC), le fitness (IF), la moyenne (MOY) et l'écart-type (ET).

**Tableau 5.1** Présentation des indicateurs d'adaptation positive et négative liés à l'entraînement

<b>Semaine 1 : du 05-Jan-2015 au 11-Jan-2015</b>												
Date	05- janv	06- janv	07- janv	08- janv	09- janv	10- janv	11- janv	Moy/sem	CE Sem	IM	IC	IF
Moy/jour	516,00	305,00	776,00	321,00	0,00	0,00	0,00	274,00	1918,00	0,69	1458,92	459,08
ET	437,28	299,28	322,69	356,72	0,00	0,00	0,00	116,72	817,07	0,19	882,09	251,55
<b>Semaine 2 : du 12-Jan-2015 au 18-Jan-2015</b>												
Date	12- janv	13- janv	14- janv	15- janv	16- janv	17- janv	18- janv	Moy/sem	CE Sem	IM	IC	IF

<b>Moy/jour</b>	267,32	422,50	315,00	482,14	340,71	0,00	0,00	261,10	1827,68	0,84	1767,94	59,74
<b>ET</b>	307,73	191,64	333,03	322,30	358,58	0,00	0,00	111,54	780,80	0,33	1464,64	717,09

**Semaine 3 : du 19-Jan 2015 au 25-Jan-2015**

Date	19- janv	20- janv	21- janv	22- janv	23- janv	24- janv	25- janv	Moy/sem	CE Sem	IM	IC	IF
<b>participant 6</b>	720,00	900,00	600,00	640,00	382,50	765,00	0,00	572,50	4007,50	1,92	7681,59	-3674,09
<b>participant 10</b>	810,00	960,00	375,00	640,00	630,00	720,00	0,00	590,71	4135,00	1,87	7720,19	-3585,19
<b>Moy/jour</b>	311,47	649,41	176,47	508,24	427,06	486,18	0,00	365,55	2558,82	0,99	3030,67	-471,85
<b>ET</b>	393,00	376,64	252,52	199,88	382,93	340,37	0,00	161,28	1128,97	0,50	2364,58	1400,44

**Semaine 4 : du 26-Jan-2015 au 01-Fév-2015**

Date	26- janv	27- janv	28- janv	29- janv	30- janv	31- janv	01- févr	Moy/sem	CE Sem	IM	IC	IF
<b>participant 3</b>	765,00	630,00	720,00	675,00	420,00	247,50	0,00	493,93	3457,50	1,74	6000,15	-2542,65
<b>participant 6</b>	720,00	900,00	600,00	640,00	382,50	765,00	0,00	572,50	4007,50	1,92	7681,59	-3674,09
<b>Moy/jour</b>	357,19	587,81	247,19	613,75	72,66	433,72	0,00	330,33	2312,31	1,05	2676,00	-363,68
<b>ET</b>	296,44	243,43	306,05	182,96	156,60	259,92	0,00	109,01	763,08	0,37	1890,03	1171,00

**Semaine 5 : du 02-Fév-2015 au 08-Fév-2015**

Date	02- févr	03- févr	04- févr	05- févr	06- févr	07- févr	08- févr	Moy/sem	CE Sem	IM	IC	IF
<b>participant 10</b>	540,00	840,00	540,00	780,00	487,50	420,00	0,00	515,36	3607,50	1,88	6772,83	-3165,33
<b>Moy/jour</b>	302,34	742,50	315,94	765,00	213,72	435,19	0,00	396,38	2774,69	1,09	3217,76	-443,08
<b>ET</b>	331,90	296,28	300,87	217,44	231,93	259,10	0,00	95,91	671,37	0,34	1582,05	985,22

**Semaine 6 : du 09-Février-2015 au 15-Février-2015**

Date	09- févr	10- févr	11- févr	12- févr	13- févr	14- févr	15- févr	Moy/sem	CE Sem	IM	IC	IF
<b>participant 3</b>	562,50	840,00	450,00	720,00	450,00	765,00	0,00	541,07	3787,50	1,91	7235,43	-3447,93
<b>Moy/jour</b>	308,67	672,00	215,00	604,00	154,17	588,07	0,00	363,13	2541,90	1,02	2933,67	-391,77
<b>ET</b>	234,51	355,83	246,50	381,82	210,53	297,50	0,00	135,16	946,14	0,41	1885,18	1057,48



**Semaine 7 : du 16-Février-2015 au 22-Février-2015**

Date	16-fév	17-fév	18-fév	19-fév	20-fév	21-fév	22-fév	Moy/sem	CE Sem	IM	IC	IF
participant 3	630,00	780,00	487,50	720,00	450,00	0,00	720,00	541,07	3787,50	2,01	7628,95	-3841,45
Moy/jour	246,92	877,50	72,12	729,23	83,08	0,00	579,23	321,51	2250,58	0,83	2058,64	191,94
ET	341,65	447,66	176,20	336,61	162,09	0,00	262,32	84,17	589,17	0,37	1736,43	1220,01

**Semaine 8 : du 23-Février-2015 au 1-Mars-2015**

Date	23-fév	24-fév	25-fév	26-fév	27-fév	28-fév	01-mars	Moy/sem	CE Sem	IM	IC	IF
Moy/jour	0,00	441,43	109,82	668,57	83,57	0,00	452,50	250,84	1755,89	0,70	1446,67	309,23
ET	0,00	401,19	189,68	374,22	166,48	0,00	288,17	126,13	882,94	0,28	1181,80	419,00

**Semaine 9 : du 02-Mars-2015 au 08-Mars-2015**

Date	02-mars	03-mars	04-mars	05-mars	06-mars	07-mars	08-mars	Moy/sem	CE Sem	IM	IC	IF
Moy/jour	0,00	535,71	0,00	478,39	0,00	0,00	0,00	144,87	1092,12	0,47	557,61	456,49
ET	0,00	423,26	0,00	290,11	0,00	0,00	0,00	92,97	605,39	0,16	396,12	260,02

**Semaine 10 : du 09-Mars-2015 au 15-Mars-2015**

Date	09-mars	10-mars	11-mars	12-mars	13-mars	14-mars	15-mars	Moy/sem	CE Sem	IM	IC	IF
Moy/jour	0,00	428,00	0,00	352,50	0,00	0,00	386,17	166,67	1250,00	0,54	768,38	398,29
ET	0,00	419,31	0,00	265,47	0,00	0,00	273,29	97,29	622,35	0,22	579,97	154,77

**Semaine 11 : du 16-Mars-2015 au 21-Mars-2015**

Date	16-mars	17-mars	18-mars	19-mars	20-mars	21-mars	Moy/sem	CE Sem	IM	IC	IF
Moy/jour	0,00	472,00	0,00	191,00	0,00	409,00	153,14	1148,57	0,51	604,68	467,32
ET	0,00	359,19	0,00	146,14	0,00	253,00	67,68	383,36	0,23	368,72	307,18

*Nota* : La coloration grise représente les joueurs surentraînés.

Au cours des deux premières semaines, nous avons constaté une légère diminution de la valeur moyenne de la charge d'entraînement hebdomadaire (CE-Sem).  
Commençant par la première semaine, nous observons que la valeur de la CE-Sem

était de  $1918 \text{ UA} \pm 817$  pour un total de quatre séances d'entraînement réalisées. Pour la deuxième semaine, la valeur moyenne de la CE-Sem est passée à  $1827.68 \text{ UA} \pm 780.80$  pour un total de six séances d'entraînement.

Les six séances d'entraînement effectuées lors de la troisième semaine ont une valeur moyenne de CE-Sem de  $2247.67 \text{ UA} \pm 1492.81$ . Durant cette semaine, nous remarquons une importante augmentation de la valeur moyenne de la CE-Sem, ainsi que la monotonie et la contrainte pour deux participants (participant #6 : semaine 3 =  $4007.50 \text{ UA} \& 1.92 \text{ UA} \& 7681.59 \text{ UA}$ ; participant #10 : semaine 3 =  $4135 \text{ UA} \& 1.87 \text{ UA} \& 7720.19 \text{ UA}$ ).

Au cours de la quatrième semaine, nous apercevons une diminution de la valeur moyenne de la CE-Sem arrivant à  $2312.31 \text{ UA} \pm 763,08$  pour un même nombre de séances d'entraînement que la troisième semaine (6 séances d'entraînement). Tandis que les données du participant #6 et aussi du participant # 3 étaient élevées par rapport aux données de leurs coéquipiers. Dans le cas du participant # 3 les données de la charge d'entraînement, la monotonie et la contrainte étaient comme suit (semaine 4 =  $3457.50 \text{ UA} \& 1.74 \text{ UA} \& 6000.15 \text{ UA}$ , par contre le participant # 6 a gardé les mêmes données que la troisième semaine ( $4007.50 \text{ UA} \& 1.92 \text{ UA} \& 7681.59 \text{ UA}$ ).

Nous remarquons aussi que les valeurs moyennes de la CE-Sem de l'équipe durant les cinquième et sixième semaines ont diminué par rapport aux données de la quatrième semaine, pourtant le nombre des séances d'entraînement est resté le même (6 séances d'entraînement), ces valeurs variaient entre  $2541.90 \text{ UA} \pm 946.14$  (semaine 6) et  $2774.69 \text{ UA} \pm 671.37$  (semaine 5), et nous constatons aussi que les données individuelles de certains participants étaient élevées. Par exemple, les valeurs de la charge d'entraînement, la monotonie et la contrainte du participant # 10 étaient

comme suit (semaine 5 = 3607.50 UA & 1.88 UA & 6772.83). Lors de la sixième semaine, les données du participant # 3 s'établissaient de la façon suivante (semaine 6 = 3787.5 UA & 1.91 UA & 7235.43 UA).

Au cours des septième et huitième semaines, il y a eu une diminution des valeurs moyennes de la CE-Sem de l'équipe qui a été causée par une baisse au niveau de la fréquence des entraînements, 5 séances d'entraînement. Ces valeurs étaient de 2250.58UA± 589.17 lors de la septième semaine et 1755.89 UA± 882.94 pendant la huitième semaine.

Sur le plan individuel, nous distinguons que les données du même participant # 3 sont passées à (semaine 7 = 3787.5 UA & 2.01 UA & 7628.95 UA).

Finalement, lors des trois dernières semaines de l'étude, nous constatons une importante diminution de la valeur moyenne de la charge d'entraînement hebdomadaire de l'équipe suite à une baisse du nombre des séances d'entraînement (Semaine 9 = 1092,12 UA± 605.39 pour 2 séances d'entraînement & Semaine 10 = 1250 UA± 622.35 & Semaine 11= 1148.57 UA± 383.36 pour 3 séances d'entraînement chacune).

Sur le plan individuel, il n'y avait aucune valeur des trois indicateurs (CE,IM et IC) qui peut être considérée comme élevée.

Lors des semaines 3, 4, 5, 6 et 7, les participants 3,6 et 10 ont été signalés surentraînés. Le responsable de la préparation physique de l'équipe a été avisé de ces trois cas de surentraînement survenus durant notre expérimentation. Pour le participant #3, on a constaté qu'il n'arrivait plus à supporter le stress de l'entraînement, vu qu'il présentait à chaque fois des scores RPE plus élevés que le reste du groupe lors des semaines (4, 6 et 7).

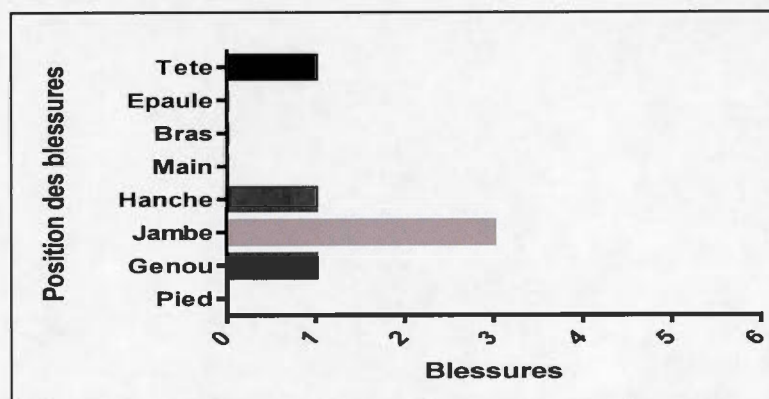
Le participant #6 a été signalé surentrainé pendant deux semaines (3 et 4), vu qu'il n'a pas assez récupéré lors de ces deux semaines, à la cinquième semaine, je lui ai accordé une séance de repos complet pour éviter le risque d'une blessure.

Le participant # 10 a été signalé surentrainé pendant les semaines (3 et 5) donc une séance de récupération lui a été accordée au cours de la première pratique de la quatrième semaine (90 UA) afin de diminuer sa CE-Sem pendant cette semaine par rapport à la semaine précédente.

En outre, le responsable de la préparation physique de l'UQÀM a été informé de la charge hebdomadaire de toute l'équipe afin de permettre de rajuster et de minimiser la différence entre les charges d'entraînement prévues par l'entraîneur et les charges d'entraînements ressenties réellement par les participants.

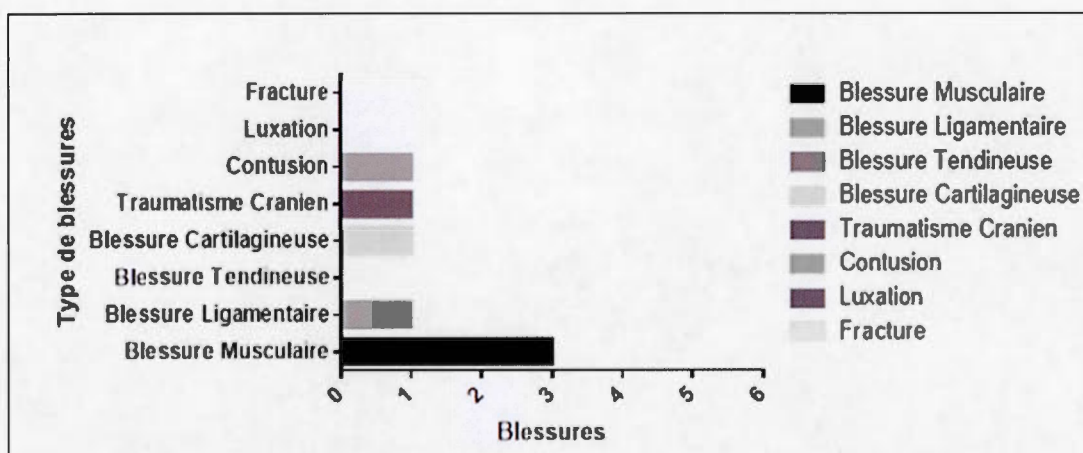
#### 4.1.2 Les blessures

On remarque sur la figure 4.2, ci-dessous, la position des blessures qui sont survenues durant notre étude, essentiellement ces blessures se sont manifestées sur les membres inférieurs des participants (66.66%). En effet, elles se sont manifestées (16.66%) sur le genou (16.66%) sur la hanche (16.66%) sur la tête et (50%) sur la jambe.



**Figure 4.2** Position des blessures relevées sur les participants au cours du championnat hivernal

On constate, aussi, en analysant la figure 4.3 ci-dessous, que le type des blessures survenues durant notre étude, la majorité de celles-ci sont (50%) de nature musculaire, (16.7%) traumatisme crânien, (16.7%) de nature ligamentaire et (16.7%) de type cartilagineux.



**Figure 4.3** Les types de blessures

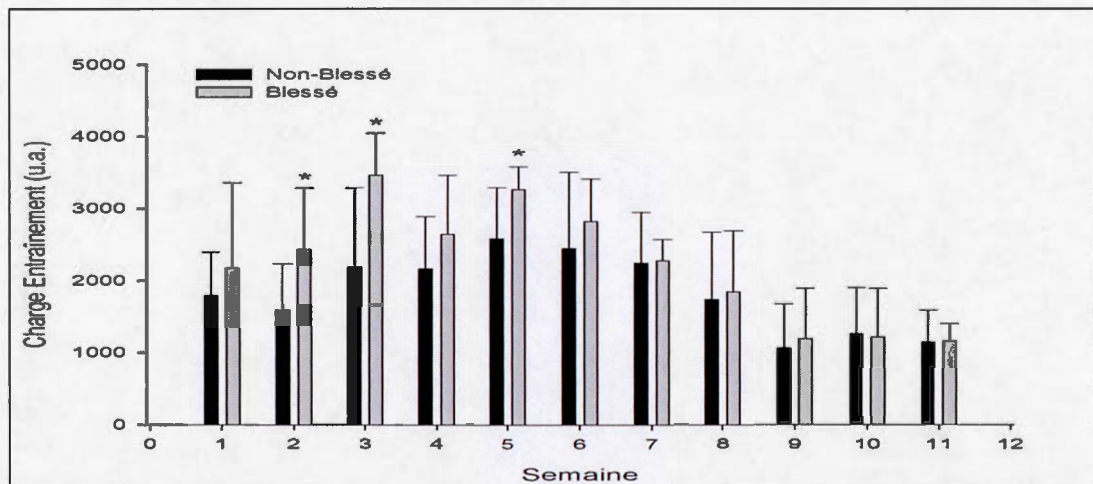
Nous remarquons, aussi, que 66% des blessures survenues lors de notre étude, sont apparues au niveau des membres inférieurs (jambe, genou) tandis que 50% de ces blessures étaient de type musculaire. Ces données semblables confirment ce qui a été retrouvé dans la littérature tel que (Hawkins *et al.*, 2001; Herrero *et al.*, 2014).

En se référant aux ouvrages (Fousekis *et al.*, 2011; Hagglund *et al.*, 2013), on peut conclure qu'il existe des multiples facteurs de risque associés aux blessures musculaires sans contact. On trouve par exemple, les antécédents de blessures, la fatigue et aussi la CE imposés aux joueurs.

En analysant la figure 4.4, ci-dessous, nous remarquons que la CE est mise en jeu. Sur cette figure 4.4, nous observons la différence entre la CE du groupe blessé et du



groupe non blessé, étant donné que notre recherche est basée sur la quantification de la CE et son effet sur la diminution du nombre de blessures ,en particulier les blessures musculaires, il est intéressant d'étudier la relation entre la CE et son effet sur l'apparition des blessures sans contact.



**Figure 4.4** CE hebdomadaire du groupe Blessé et du groupe Non Blessé durant l'étude

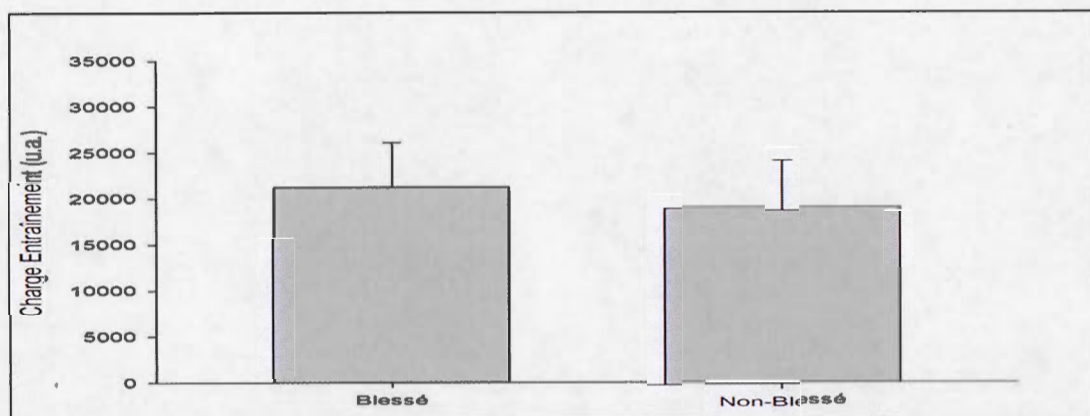
*Nota :* Les astérisques au-dessus des barres à la semaine 2, 3 et 5 indiquent que la CE est plus élevée significativement ( $p < 0,05$ ) dans le groupe Blessé que le groupe Non-Blessé.

Comme le montre la figure 4.4, au-dessus, nous pouvons constater qu'au cours des semaines 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10 et 11 il n'y avait pas une grande différence de CE entre les deux groupes, tandis que les astérisques au-dessus des barres à la semaine 2, 3 et 5 indiquent que la CE est significativement ( $p < 0,05$ ) plus élevée dans le groupe blessé que le groupe non blessé.

Dans cette même optique nous avons comparé la CE totale dans le groupe blessé et le groupe non blessé, figure 4.5 ci-dessous, nous avons remarqué que la moyenne de la

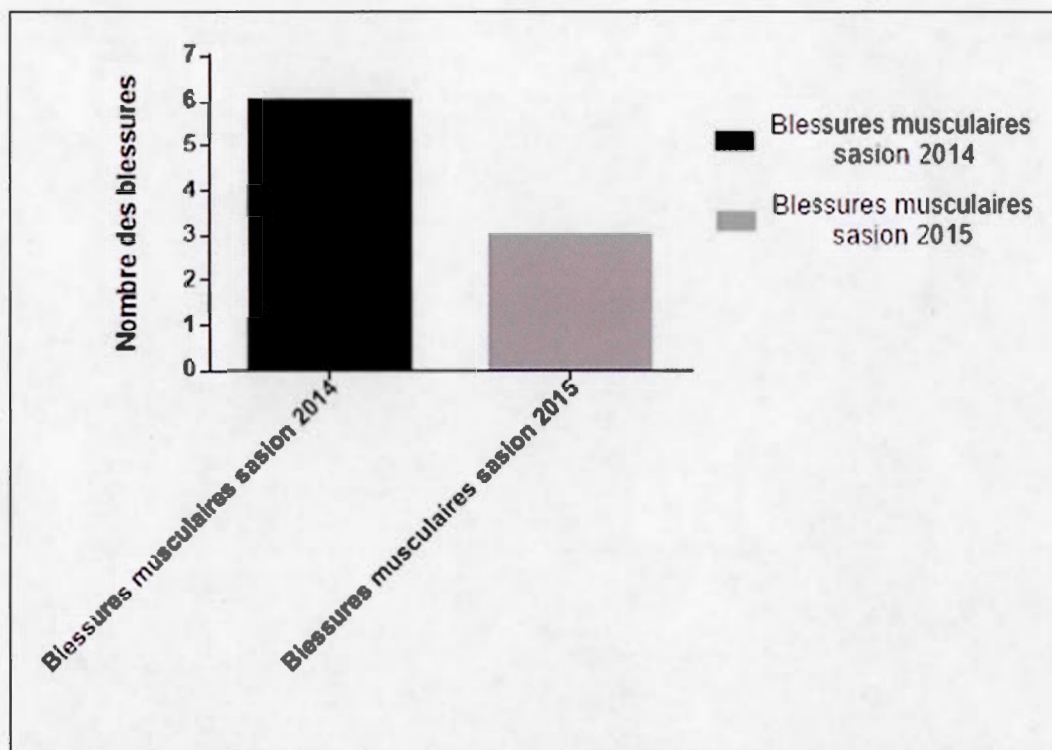


CE totale dans le groupe blessé n'était pas significativement différente ( $23417 \pm 4865$  UA) à celle du groupe non blessé ( $19013 \pm 5357$  UA).



**Figure 4.5** Comparaison de la CE totale du groupe Blessé et du groupe Non- Blessé durant l'étude

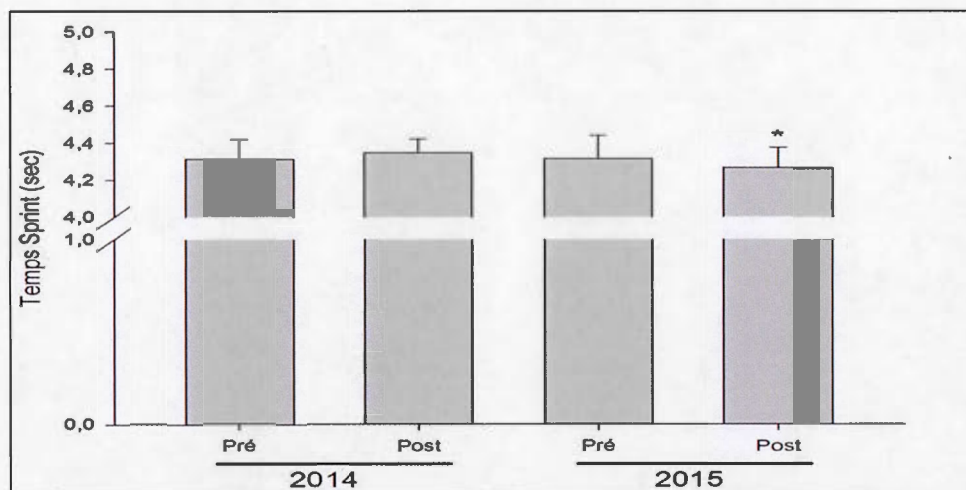
Les blessures survenues au cours de la saison hivernale 2015 étaient de 6 blessures, parmi ces blessures on remarque 3 blessures musculaires. Ce nombre a été diminué par rapport au nombre de blessures musculaires au cours de la saison hivernale 2014 (6 blessures musculaires), figure 4.6 ci-dessous, sachant que le même programme d'entraînement a été effectué durant la saison hivernale.



**Figure 4.6** Comparaison du nombre des blessures musculaires entre la saison hivernale 2014 et 2015

#### **4.1.3 La performance physique (Test de vitesse sur 30 mètres)**

En analysant la figure 4.7 nous pouvons constater que le paramètre vitesse sur 30 mètres a été amélioré durant la saison hivernale 2015 par rapport à la saison hivernale 2014.



**Figure 4.7** Résultats de la vitesse sur 30m durant la saison hivernale 2014 et 2015

*Nota :* L'astérisque dans le graphique vitesse indique une différence non significative à  $p < 0,059$  entre le pré et le post de l'année 2015.

Sachant qu'au cours des deux saisons, le même programme d'entraînement a été effectué et que les mêmes participants ( $n=8$ ) ont réalisé ce test. D'ailleurs l'astérisque dans le graphique vitesse indique une différence non significative à  $p < 0,059$  entre le pré et le post de l'année 2015.

La comparaison du test de vitesse sur 30 mètres entre la saison hivernale 2014 et 2015 ne montre pas d'amélioration de la vitesse de course entre le prétest et le post test au cours de notre étude. Néanmoins, l'effet de taille est 0,48 et selon Cohen cela indique un effet de différence qui est moyen, donc, malgré une absence de différence significative à 0,05, la différence soulevée entre le pré et le post à la saison 2015 n'est pas négligeable. Il est de même pour la différence au moment post 2014 et 2015 où il n'y a pas de différence significative ( $p = 0.103$ ), mais l'effet de taille est 0.75 et selon Cohen indique un effet de différence qui est grand.

## **CHAPITRE V**

### **DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS**

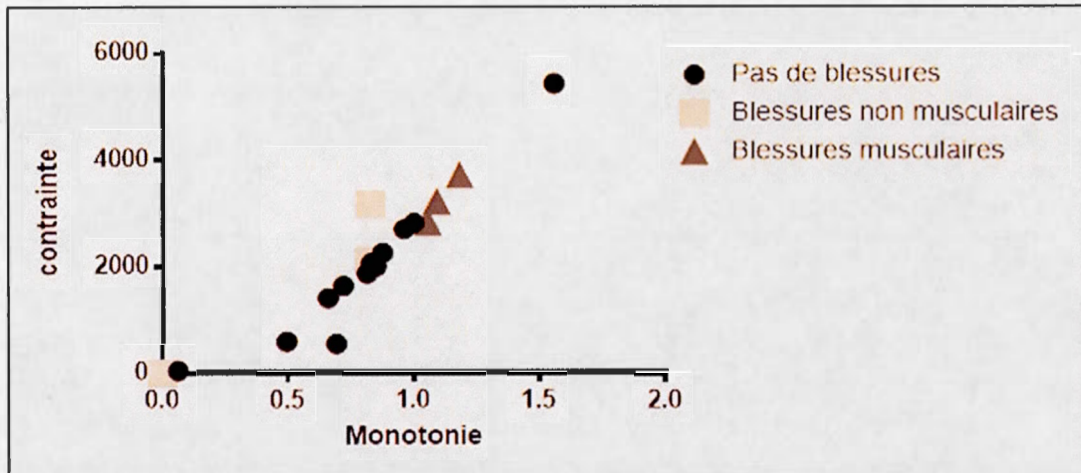
#### **5. Discussion**

Les résultats de la présente étude permet de soulever que la méthode séance - RPE participe à réduire le nombre des blessures musculaires durant une saison universitaire compétitive. Ce constat permet d'accepter l'hypothèse alternative présentée au début de ce mémoire.

En se basant sur plusieurs études sur le soccer évoquant le même sujet que notre étude, tel que Coutts et al., (2007b ; 2007c), Impellizzeri et al., (2004 ; 2005), Putlur et al., (2004). Ces auteurs ont montré que lorsque les valeurs de CE au cours des périodes précompétitives atteignent des valeurs dans les alentours de (2400-3200 UA), il y a une forte possibilité que les joueurs soient exposés à des blessures, à des sensations de fatigue et surtout à une baisse de la performance pendant la période de compétition.

De plus, nos résultats démontrent que, suite à notre expérimentation figure 5.1 ci-dessous, les participants ayant des blessures musculaires présentaient des valeurs de monotonie et de contrainte élevées, au-dessus de la moyenne durant la période de compétition (semaine 3, 4, 5, 6, 7 et 8) par contre les participants ayant des blessures non musculaires présentaient des valeurs de monotonie et de contrainte au-dessous de la moyenne.





**Figure 5.1 :** Relation entre blessures, monotonie et contrainte pendant les six matches du circuit universitaire

Suite à ces résultats obtenus (figure 4.4 et 4.5), nous pouvons déduire que malgré l'utilisation d'une échelle de perception de l'effort (Borg CR-10) afin d'éviter les blessures musculaires sans contact et de quantifier la CE interne imposé aux participants sous forme de stress physique et psychologique (Impellizzeri et al., 2004), la CE peut être considérée comme le facteur de risque lié à la survenue des blessures. En effet, cette constatation confirme ce qui a été démontré dans les ouvrages précédents à propos des risques des blessures qui ont été causées par l'augmentation des CE, comme il a été mentionné par (Foster, 1998; Foster et al., 2001) dans la citation suivante :

*« Une contrainte hebdomadaire élevée permet d'expliquer plus de 85% des problèmes de santé associés au surentrainement. »*

Aussi, suite aux résultats obtenus durant notre expérimentation, nous avons remarqué que 66% des blessures survenues (figure 4.2) sont apparues au niveau des membres

inférieures (jambe, genou) tandis que 50% des blessures totales survenues sont de type musculaire (figure 4.3). Ceci confirme ce qui a été démontré dans la littérature.

En ce qui concerne l'amélioration de la performance physique, représentée dans notre étude par la vitesse au test de 30 m, nous n'avons pas obtenu une amélioration significative à  $p \leq 0,05$  vu le nombre réduit de participants (8 athlètes), toutefois le  $p$  atteint est égal à 0,059 qui suggère une amélioration.

### **5.1 Prévention des blessures**

La FIFA a mis sur pied un programme de prévention de blessures nommées FIFA 11+ (le Centre d'évaluation et de recherche médicale de la FIFA (F-MARC) et le Centre de recherche en traumatologie sportive d'Oslo, 2006). C'est un outil qui s'avère intéressant pour toutes les équipes en développement, c'est-à-dire U12, afin d'instaurer dès le jeune âge des habitudes de préparation physique. Brièvement, le FIFA 11+ est une série de 11 exercices, comme mentionné plus haut dans la recension de la littérature scientifique. La pratique du programme FIFA 11+ a le potentiel d'améliorer plusieurs qualités physiques dont la force, la stabilité, l'équilibre et de permettre à ces athlètes en développement d'intégrer éventuellement des niveaux de compétition plus avancés avec un risque de blessure réduit.

Une approche aussi utilisée pour contrôler l'hygiène de vie des joueurs est l'indice de Hooper (Chamari, 2013) qui consiste à faire un questionnaire avant chaque séance d'entraînement et avant chaque compétition. Ce questionnaire concerne l'état de stress, la qualité de sommeil, l'état de fatigue et les courbatures. Cet indice est calculé en faisant la somme de quatre facteurs influençant la performance physique des participants (sommeil, courbatures, fatigue et stress). Plus la somme de ces facteurs est élevée, plus la performance physique des joueurs est faible. Toutefois, comment



l'approche de Hooper s'intègre à l'approche de séance-RPE de Foster (Chamari, 2011) à la diminution de risque de blessure n'est pas entièrement clair et mérite dans des études futures d'être explorée. En fait, le but de la méthode séance-RPE ainsi que l'indice de Hooper est de réduire les CE afin de diminuer le risque des blessures. Or les études scientifiques se contredisent à ce sujet, en effet une récente étude de (Gabbett, 2016) a démontré que les entraînements avec des CE élevées peuvent offrir un meilleur effet préventif contre les blessures, une amélioration des qualités physiques et une optimisation de la performance sportive.

## **5.2 Les limites de la recherche**

Parmi les limites de notre recherche, comme mentionné au paragraphe précédent, nous citons le nombre faible des participants pour le test de vitesse.

Aussi, en ce qui concerne l'apparition des signes de surentraînement, malgré que certains joueurs présentaient des valeurs élevées des indicateurs d'adaptation négative liés à l'entraînement, la réalisation de quelques séances de récupération n'a pas pu être effectuée, puisque la décision finale revient à l'entraîneur-chef de l'équipe.

Les résultats de notre recherche ont été comparés à une seule année. Cela peut représenter une limite à l'interprétation de nos résultats. Il serait intéressant d'effectuer le suivi des scores RPE sur plusieurs années, voir 4 à 5 ans afin de voir si les résultats seraient semblables à ce que nous avons observé sur deux années, et aussi d'augmenter le nombre de participants.

Une autre limite de cette étude est liée à la vie quotidienne des participants (la récupération et l'alimentation des athlètes). En effet, les journées des joueurs durant cette étude ont été assez chargées puisque ces derniers sont des étudiants à temps plein qui travaillent à temps partiel (au minimum 20 heures par semaine) et s'entraînent cinq fois par semaine avec un match le weekend. Tous ces facteurs

peuvent perturber et affecter les athlètes physiquement (la fatigue musculaire) ainsi que mentalement (stress et fatigue centrale).

La dernière limite de cette étude est que la méthode séance- RPE prend en considération et en grande partie l'implication et l'intuition propre de chaque participant. Or, un athlète peu expérimenté aura plus de mal à estimer la difficulté exacte qu'il va ressentir lors des entraînements et des matchs. Une limite qui a été soulevé par d'autres auteurs, par exemple ( Foster, 2001; Chamari, 2011; Roy, 2013).

### **5.3 Conclusion**

Au cours de notre recherche, nous avons tenté de comprendre l'effet de la méthode séance-RPE sur la diminution du risque de surentrainement, des blessures musculaires et aussi sur l'optimisation de la performance sportive, en appliquant cette dernière sur les joueurs de l'équipe masculine de soccer de l'UQAM durant la saison hivernale 2015. En effet, les résultats de notre étude montre que le nombre des blessures musculaires a diminué par rapport à la saison hivernale 2014 suite à un suivi rigoureux des CE durant la saison 2015 en utilisant la méthode séance-RPE. Néanmoins, malgré l'adoption de cette méthode, on a constaté la présence de blessures musculaires et aussi quelques cas de surentrainement.

Donc, il est possible de conclure que la méthode de séance-RPE est un outil permettant un suivi précis de la CE avec le potentiel de réduire le nombre de blessures de nature musculaires durant la saison compétitive. C'est un outil qui semble facile à utiliser pour les entraîneurs et les préparateurs physiques.

De plus, des recherches futures sur le même sujet, utilisant les trois méthodes (séance-RPE, le programme de prévention FIFA 11+ et l'indice de Hopper) pour la prévention de blessures tant au niveau amateur, universitaire, et/ou semi-

professionnel sont nécessaires pour prouver leurs effets sur la prévention des cas de surentrainement et de blessures musculaires ainsi que l'optimisation de la performance sportive des joueurs.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Achten, J. et Jeukendrup, A.E. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med*, 33(7), 517-538.
- Achten, J. et Jeukendrup, A.E. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med*, 33(7), 517-538.
- Alexiou, H. et Coutts, A.J. (2008). A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*, 3(3), 320-330.
- Allen DG, Westerblad H (2001). Role of phosphate and calcium stores in muscle fatigue. *J Physiol* 536(Pt 3): 657-65.
- Allen DG, Kabbara AA, Westerblad H (2002). Muscle fatigue: the role of intracellular calcium stores. *Can J Appl Physiol* 27: 83-96.
- Allen DG, Lamb GD, Westerblad H (2008). Skeletal muscle fatigue: Cellular mechanisms. *Physiol Rev* 88: 287-332.
- Arvinen-Barrow, M. et Walker, N. (2013). *The Psychology of Sport Injury and Rehabilitation*. : Routledge.
- Attia, Sami. 2004. «La recherche en marketing». Institut supérieure de gestion de Tunis (ISG).
- Bailey SP, Davis JM, Ahlborn EN (1993). Neuroendocrine and substrate responses to altered brain 5-HT activity during prolonged exercise to fatigue. *J Appl Physiol* 74: 3006-3012
- Banister, E.W. et Calvert, T.W. (1980). Planning for future performance: implications for long term training. *Can J Appl Sport Sci*, 5(3), 170-176.

- Barry, B.K. et Enoka, R.M. (2007). The neurobiology of muscle fatigue: 15 years later. *Integr Comp Biol*, 47(4), 465-473.
- Bassett, D.R., Jr. (2000). Validity and Reliability issues in Objective Monitoring of Physical Activity. *Res Q Exerc Sport*, 71 Suppl 2, 30-36.
- Beckett, J.R., Schneiker, K.T., Wallman, K.E., Dawson, B.T. et Guelfi, K.J. (2009). Effects of static stretching on repeated sprint and change of direction performance. *Med Sci Sports Exerc*, 41(2), 444-450.
- Bellinger AM, Reiken S, Dura M, Murphy PW, Deng SX, Landry DW, Nieman D, Lehnart SE, Samaru M, LaCampagne A, Marks AR (2008). Remodeling of ryanodine receptor complex causes "leaky" channels: a molecular mechanism for decreased exercise capacity. *Proc Natl Acad Sci U S A* 105(6): 2198-202.
- Bigland-Ritchie, B., Johansson, R., Lippold, O.C. et Woods, J.J. (1983). Contractile speed and EMG changes during fatigue of sustained maximal voluntary contractions. *J Neurophysiol*, 50(1), 313-324.
- Bogdanis, G.C., Nevill, M.E., Lakomy, H.K., Graham, C.M. et Louis, G. (1996). Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 74(5), 461-469.
- Boisseau, N., Duclos, M., Guinot, A.M. et Guinot, M. (2009). La femme sportive: Spécificités physiologiques et physiopathologiques. : De Boeck Supérieur.
- Bonaventura, J.M., Sharpe, K., Knight, E., Fuller, K.L., Tanner, R.K. et Gore, C.J. (2015). Reliability and accuracy of six hand-held blood lactate analysers. *J Sports Sci Med*, 14(1), 203-214.

- Borresen, J. et Lambert, M.I. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Med*, 39(9), 779-795.
- Boyd, L.J., Ball, K. et Aughey, R.J. (2013). Quantifying external load in Australian football matches and training using accelerometers. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(1), 44-51.
- Bradley, P.S., Di Mascio, M., Peart, D., Olsen, P. et Sheldon, B. (2010). High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels. *J Strength Cond Res*, 24(9), 2343-2351.
- Cahill, N., Lamb, K., Worsfold, P., Headey, R. et Murray, S. (2013). The movement characteristics of English Premiership rugby union players. *J Sports Sci*, 31(3), 229-237.
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L. et Reilly, T. (2008). The role of motion analysis in elite soccer: contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Med*, 38(10), 839-862.
- Castagna, C., Abt, G., Manzi, V., Annino, G., Padua, E. et D'Ottavio, S. (2008). Effect of recovery mode on repeated sprint ability in young basketball players. *J Strength Cond Res*, 22(3), 923-929.
- Castagna, C., Impellizzeri, F.M., Chaouachi, A., Bordon, C. et Manzi, V. (2011). Effect of training intensity distribution on aerobic fitness variables in elite soccer players: a case study. *J Strength Cond Res*, 25(1), 66-71.
- Celine, C.G., Monnier-Benoit, P., Gros Lambert, A., Tordi, N., Perrey, S. et Rouillon, J.D. (2011). The perceived exertion to regulate a training program in young women. *J Strength Cond Res*, 25(1), 220-224.
- Chamari, K., Contrôle de la charge d'entraînement en football. Congr  Tunis 2011



- Chaouachi, A., Leiper, J.B., Souissi, N., Coutts, A.J. et Chamari, K. (2009). Effects of Ramadan intermittent fasting on sports performance and training: a review. *Int J Sports Physiol Perform*, 4(4), 419-434.
- Charlot, C., La technologie vous transforme en Mutant connecté. Juillet 2013, Trends Tendances.
- Clin J Sport Med. 2006 Sep;16(5):412-7. Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. Baumert M1, Brechtel L, Lock J, Hermsdorf M, Wolff R, Baier V, Voss A. Author information.
- Cometti, G., Intérêt de l'électrostimulation dans l'entraînement des sportifs de haut niveau. Centre d'expertise de la performance. Newsletter N :8 – Novembre 2013
- Cometti, G., La récupération en préparation physique. Centre d'expertise de la performance. Newsletter N:1 – Novembre 2009
- Coppack, R.J., Etherington, J. et Wills, A.K. (2011). The effects of exercise for the prevention of overuse anterior knee pain: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med*, 39(5), 940-948.
- Coughlan, G.F., Green, B.S., Pook, P.T., Toolan, E. et O'Connor, S.P. (2011). Physical game demands in elite rugby union: a global positioning system analysis and possible implications for rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther*, 41(8), 600-605.
- Coutts, A.J. et Duffield, R. (2010). Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *J Sci Med Sport*, 13(1), 133-135.

- Coutts, A.J., Reaburn, P., Piva, T.J. et Rowsell, G.J. (2007). Monitoring for overreaching in rugby league players. *Eur J Appl Physiol*, 99(3), 313-324.
- Coutts, A., Reaburn, P., Piva, T.J. et Murphy, A. (2007). Changes in selected biochemical, muscular strength, power, and endurance measures during deliberate overreaching and tapering in rugby league players. *Int J Sports Med*, 28(2), 116-124.
- Crouter, S.E., Schneider, P.L., Karabulut, M. et Bassett, D.R., Jr. (2003). Validity of 10 electronic pedometers for measuring steps, distance, and energy cost. *Med Sci Sports Exerc*, 35(8), 1455-1460.
- Daneshjoo, A., Mokhtar, A.H., Rahnama, N. et Yusof, A. (2012). The effects of injury preventive warm-up programs on knee strength ratio in young male professional soccer players. *PLoS One*, 7(12), e50979.
- Dellal, A. (2008). De l'entraînement à la performance en football. : De Boeck Supérieur.
- Di Salvo, V., Baron, R., Gonzalez-Haro, C., Gormasz, C., Pigozzi, F. et Bachl, N. (2010). Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *J Sports Sci*, 28(14), 1489-1494.
- Drawer, S. et Fuller, C.W. (2002). Perceptions of retired professional soccer players about the provision of support services before and after retirement. *Br J Sports Med*, 36(1), 33-38.
- Dupont, G., Nedelec, M., McCall, A., McCormack, D., Berthoin, S. et Wisloff, U. (2010). Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *Am J Sports Med*, 38(9), 1752-1758.

- Edwards, R.G. et Lippold, O.C. (1956). The relation between force and integrated electrical activity in fatigued muscle. *J Physiol*, 132(3), 677-681.
- Edwards, S. ( 1993). Heart Rate Monitor Book : Polar CIC Inc.,US; First Printing edition (1 Jan. 1993).
- Ekstrand, J., Askling, C., Magnusson, H. et Mithoefer, K. (2013). Return to play after thigh muscle injury in elite football players: implementation and validation of the Munich muscle injury classification. *Br J Sports Med*, 47(12), 769-774.
- Enoka, R.M. et Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol*, 586(1), 11-23.
- Eston, R. et Evans, H.J. (2009). The validity of submaximal ratings of perceived exertion to predict one repetition maximum. *J Sports Sci Med*, 8(4), 567-573.
- Favero TG, Zable AC, Bowman MB, Thompson A, Abramson JJ (1995). Metabolic end products inhibit sarcoplasmic reticulum Ca<sup>2+</sup> release and [3H] ryanodine binding. *J Appl Physiol* 78: 1665-1672.
- Fitts, R.H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol Rev*, 74(1), 49-94.
- Fortington, L.V., Donaldson, A., Lathlean, T., Young, W.B., Gabbe, B.J., Lloyd, D. et Finch, C.F. (2015). When 'just doing it' is not enough: assessing the fidelity of player performance of an injury prevention exercise program. *J Sci Med Sport*, 18(3), 272-277.
- Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc*, 30(7), 1164-1168.

- Foster, C., Florhaug, J.A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L.A., Parker, S., Doleshal, P. et Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res*, 15(1), 109-115.
- Fousekis, K., Tsepis, E., Poulmedis, P., Athanasopoulos, S. et Vagenas, G. (2011). Intrinsic risk factors of non-contact quadriceps and hamstring strains in soccer: a prospective study of 100 professional players. *Br J Sports Med*, 45(9), 709-714.
- French, D.N., Thompson, K.G., Garland, S.W., Barnes, C.A., Portas, M.D., Hood, P.E. et Wilkes, G. (2008). The effects of contrast bathing and compression therapy on muscular performance. *Med Sci Sports Exerc*, 40(7), 1297-1306.
- Fujita, S. et Volpi, E. (2006). Amino acids and muscle loss with aging. *J Nutr*, 136(1 Suppl), 277S-280S.
- Fuller, C.W., Ekstrand, J., Junge, A., Andersen, T.E., Bahr, R., Dvorak, J., Hagglund, M., McCrory, P. et Meeuwisse, W.H. (2006). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Clin J Sport Med*, 16(2), 97-106.
- Gabbett, T.J. (2004). Influence of training and match intensity on injuries in rugby league. *J Sports Sci*, 22(5), 409-417.
- Gabbett, T.J. (2010). GPS analysis of elite women's field hockey training and competition. *J Strength Cond Res*, 24(5), 1321-1324.
- Gabbett, T.J. (2013). Influence of the opposing team on the physical demands of elite rugby league match play. *J Strength Cond Res*, 27(6), 1629-1635.
- Gabbett, T.J. (2016). The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *Br J Sports Med*, 50(5), 273-280.

Gabbett, T.J. et Domrow, N. (2007). Relationships between training load, injury, and fitness in sub-elite collision sport athletes. *J Sports Sci*, 25(13), 1507-1519.

Gabbett, T.J. et Seibold, A.J. (2013). Relationship between tests of physical qualities, team selection, and physical match performance in semiprofessional rugby league players. *J Strength Cond Res*, 27(12), 3259-3265.

Gandevia, S.C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev*, 81(4), 1725-1789.

Grossman Y, Parnas I, Spira ME (1979). Differential conduction block in branches of a bifurcating axon. *J Physiol* 295: 283-305.

Guezennec, C-Y., Sport, Entraînement et régulation hormonale. Avril 1996

Guissard N, Rôle de l'étirement lors de la préparation du muscle à l'effort, in « la planification de la préparation physique, (2000), éditions UFRSTAPS Dijon.

Guissard N, Méthodes d'étirement musculaire : bases scientifiques et aspects pratiques, in « la planification de la préparation physique, (2000), éditions UFRSTAPS Dijon.

Haddad, M., Chaouachi, A., Castagna, C., Wong del, P., Behm, D.G. et Chamari, K. (2011). The construct validity of session RPE during an intensive camp in young male Taekwondo athletes. *Int J Sports Physiol Perform*, 6(2), 252-263.

Haddad, M., Chaouachi, A., Wong del, P., Castagna, C., Hambli, M., Hue, O. et Chamari, K. (2013). Influence of fatigue, stress, muscle soreness and sleep on perceived exertion during submaximal effort. *Physiol Behav*, 119, 185-189

- Hagglund, M., Walden, M., Magnusson, H., Kristenson, K., Bengtsson, H. et Ekstrand, J. (2013). Injuries affect team performance negatively in professional football: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br J Sports Med*, 47(12), 738-742.
- Hakes, C., Ouellet, M., Difficultés de sommeil et fatigue suite a un traumatisme craniocérébrl. Conférence annuelle de l'Association canadienne des lésés cérébraux, Gatineau, QC septembre 2014.
- Hargreaves M, McKenna MJ, Jenkins DG, Warmington SA, Li JL, Snow RJ, Febbraio MA (1998). Muscle metabolites and performance during high-intensity, intermittent exercise. *J Appl Physiol* 84: 1687-1691.
- Hawkins, R.D., Hulse, M.A., Wilkinson, C., Hodson, A. et Gibson, M. (2001). The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med*, 35(1), 43-47.
- Hemmings, B., Smith, M., Graydon, J. et Dyson, R. (2000). Effects of massage on physiological restoration, perceived recovery, and repeated sports performance. *Br J Sports Med*, 34(2), 109-114; discussion 115.
- Henderson, G., Barnes, C.A. et Portas, M.D. (2010). Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. *J Sci Med Sport*, 13(4), 397-402.
- Herbert, R.D. et Gabriel, M. (2002). Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *BMJ*, 325(7362), 468.
- Herman, K., Barton, C., Malliaras, P. et Morrissey, D. (2012). The effectiveness of neuromuscular warm-up strategies, that require no additional equipment,



for preventing lower limb injuries during sports participation: a systematic review. *BMC Med*, 10, 75.

Herrero, H., Salinero, J.J. et Del Coso, J. (2014). Injuries among Spanish male amateur soccer players: a retrospective population study. *Am J Sports Med*, 42(1), 78-85.

Hootman, J.M., Dick, R. et Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *J Athl Train*, 42(2), 311-319.

Impellizzeri, F.M., Rampinini, E., Coutts, A.J., Sassi, A. et Marcora, S.M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc*, 36(6), 1042-1047.

Ingebrigtsen, J., Dalen, T., Hjelde, G.H., Drust, B. et Wisloff, U. (2015). Acceleration and sprint profiles of a professional elite football team in match play. *Eur J Sport Sci*, 15(2), 101-110.

Johnston, R.J., Watsford, M.L., Pine, M.J., Spurrs, R.W., Murphy, A. et Pruyn, E.C. (2012). Movement demands and match performance in professional Australian football. *Int J Sports Med*, 33(2), 89-93.

Johnstone, J.A., Ford, P.A., Hughes, G., Watson, T. et Garrett, A.T. (2012). Bioharness() multivariable monitoring device: part. I: validity. *J Sports Sci Med*, 11(3), 400-408.

Jones N et Kieran J (2000). Exercise limitation in health and disease. *The New England Journal of Medicine*, 3439, 632-641

Junge, A., Lamprecht, M., Stamm, H., Hasler, H., Bizzini, M., Tschopp, M., Reuter, H., Wyss, H., Chilvers, C. et Dvorak, J. (2011). Countrywide campaign to prevent soccer injuries in Swiss amateur players. *Am J Sports Med*, 39(1), 57-63.

- Karvonen, J. et Vuorimaa, T. (1988). Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. *Sports Med*, 5(5), 303-311.
- Kiani, A., Hellquist, E., Ahlqvist, K., Gedeberg, R., Michaelsson, K. et Byberg, L. (2010). Prevention of soccer-related knee injuries in teenaged girls. *Arch Intern Med*, 170(1), 43-49.
- Kohl, H.W., 3rd. (2001). Physical activity and cardiovascular disease: evidence for a dose response. *Med Sci Sports Exerc*, 33(6 Suppl), S472-483; discussion S493-474.
- Kraemer, W.J. et Rogol, A.D. (2008). *The Encyclopaedia of Sports Medicine: An IOC Medical Commission Publication, The Endocrine System in Sports and Exercise*. : Wiley.
- LaBella, C.R., Huxford, M.R., Grissom, J., Kim, K.Y., Peng, J. et Christoffel, K.K. (2011). Effect of neuromuscular warm-up on injuries in female soccer and basketball athletes in urban public high schools: cluster randomized controlled trial. *Arch Pediatr Adolesc Med*, 165(11), 1033-1040.
- Lambert, M.I. et Borresen, J. (2010). Measuring training load in sports. *Int J Sports Physiol Perform*, 5(3), 406-411.
- Larsson, P. (2003). Global positioning system and sport-specific testing. *Sports Med*, 33(15), 1093-1101.
- Larsson, P. et Henriksson-Larsen, K. (2005). Combined metabolic gas analyser and dGPS analysis of performance in cross-country skiing. *J Sports Sci*, 23(8), 861-870.
- Lee, J.M., Kim, Y. et Welk, G.J. (2014). Validity of consumer-based physical activity monitors. *Med Sci Sports Exerc*, 46(9), 1840-1848.

- Lucia, A., Hoyos, J., Carvajal, A. et Chicharro, J.L. (1999). Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *Int J Sports Med*, 20(3), 167-172.
- Lund, H., Vestergaard-Poulsen, P., Kanstrup, I.L. et Sejrsen, P. (1998). The effect of passive stretching on delayed onset muscle soreness, and other detrimental effects following eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports*, 8(4), 216-221.
- MacKinnon, L.T. (2000). Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: overtraining effects on immunity and performance in athletes. *Immunol Cell Biol*, 78(5), 502-509.
- Mandelbaum, B.R., Silvers, H.J., Watanabe, D.S., Knarr, J.F., Thomas, S.D., Griffin, L.Y., Kirkendall, D.T. et Garrett, W., Jr. (2005). Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *Am J Sports Med*, 33(7), 1003-1010.
- Martin, V., Millet, G.Y., Lattier, G. et Perrod, L. (2004). Effects of recovery modes after knee extensor muscles eccentric contractions. *Med Sci Sports Exerc*, 36(11), 1907-1915.
- Manzi, V., D'Ottavio, S., Impellizzeri, F.M., Chaouachi, A., Chamari, K. et Castagna, C. (2010). Profile of weekly training load in elite male professional basketball players. *J Strength Cond Res*, 24(5), 1399-1406.
- Matthew, D. et Delextrat, A. (2009). Heart rate, blood lactate concentration, and time-motion analysis of female basketball players during competition. *J Sports Sci*, 27(8), 813-821.

- McKenzie, D.C. (1999). Markers of excessive exercise. *Can J Appl Physiol*, 24(1), 66-73.
- Meeusen R, Watson P, Hasegawa H, Roelands B, Piacentini MF (2007). Brain neurotransmitters in fatigue and overtraining. *Appl Physiol Nutr Metab* 32: 857- 864.
- Michaelidis, M. et Koumantakis, G.A. (2014). Effects of knee injury primary prevention programs on anterior cruciate ligament injury rates in female athletes in different sports: a systematic review. *Phys Ther Sport*, 15(3), 200-210.
- Misiaszek JE (2003). The H-reflex as a tool in neurophysiology: its limitations and uses in understanding nervous system function. *Muscle Nerve* 28 (2): 114-160.
- Mohr, M., Krstrup, P. et Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci*, 21(7), 519-528.
- Mooney, M.G., Hunter, J.R., O'Brien, B.J., Berry, J.T. et Young, W.B. (2011). Reliability and validity of a novel intermittent peak running speed test for Australian football. *J Strength Cond Res*, 25(4), 973-979.
- Nederhof, E., Lemmink, K.A., Visscher, C., Meeusen, R. et Mulder, T. (2006). Psychomotor speed: possibly a new marker for overtraining syndrome. *Sports Med*, 36(10), 817-828.
- Noonan, B., Bancroft, R.W., Dines, J.S. et Bedi, A. (2012). Heat- and cold-induced injuries in athletes: evaluation and management. *J Am Acad Orthop Surg*, 20(12), 744-754.
- Novas, A.M., Rowbottom, D.G. et Jenkins, D.G. (2003). A practical method of estimating energy expenditure during tennis play. *J Sci Med Sport*, 6(1), 40-50.

- Nybo L, Secher NH (2004). Cerebral perturbations provoked by prolonged exercise. *Progress in Neurobiology* 72(4): 223-61.
- O'Brien, J. et Finch, C.F. (2014a). The implementation of musculoskeletal injury-prevention exercise programmes in team ball sports: a systematic review employing the RE-AIM framework. *Sports Med*, 44(9), 1305-1318.
- O'Brien, J. et Finch, C.F. (2014b). A systematic review of core implementation components in team ball sport injury prevention trials. *Inj Prev*, 20(5), 357-362.
- Opar, D.A., Williams, M.D. et Shield, A.J. (2012). Hamstring strain injuries: factors that lead to injury and re-injury. *Sports Med*, 42(3), 209-226.
- Pen, L.J., Barrett, R.S., Neal, R.J. et Steele, J.R. (1996). An injury profile of elite ironman competitors. *Aust J Sci Med Sport*, 28(1), 7-11.
- Portas, M.D., Harley, J.A., Barnes, C.A. et Rush, C.J. (2010). The validity and reliability of 1-Hz and 5-Hz global positioning systems for linear, multidirectional, and soccer-specific activities. *Int J Sports Physiol Perform*, 5(4), 448-458.
- Psycharakis, S.G. (2011). A longitudinal analysis on the validity and reliability of ratings of perceived exertion for elite swimmers. *J Strength Cond Res*, 25(2), 420-426.
- Pyne, D.B., Boston, T., Martin, D.T. et Logan, A. (2000). Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur J Appl Physiol*, 82(1-2), 112-116.
- Randers, M.B., Mujika, I., Hewitt, A., Santisteban, J., Bischoff, R., Solano, R., Zubillaga, A., Peltola, E., Krustup, P. et Mohr, M. (2010). Application of four different football match analysis systems: a comparative study. *J Sports Sci*, 28(2), 171-182.



Rainville, M., Goulet, C., Tremblay, B. et Maurice, P. (2010). BLESSURES EN SOCCER PORTRAIT DES CONSULTATIONS À L'URGENCE DE L'HÔPITAL DE L'ENFANT-JÉSUS DE QUÉBEC : l'Institut national de santé publique du Québec.

Rodriguez-Marroyo, J.A., Villa, G., Garcia-Lopez, J. et Foster, C. (2012). Comparison of heart rate and session rating of perceived exertion methods of defining exercise load in cyclists. *J Strength Cond Res*, 26(8), 2249-2257.

Roy, X., L'échelle de perception de l'effort pour quantifier et moduler la charge d'entraînement en football universitaire. 2013.

Scott, B.R., Lockie, R.G., Knight, T.J., Clark, A.C. et Janse de Jonge, X.A. (2013). A comparison of methods to quantify the in-season training load of professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(2), 195-202.

Seguin L, Liscia P, Guezennec Y, Fillion G (1998). Effects of moderate and intensive training on functional activity of central 5-HT<sub>1B</sub> receptors in the rat substantia nigra. *Acta Physiol Scand* 162: 63-68.

Sesboué, B., Guincestre, J-Y., (2006). La fatigue musculaire. *Annales de réadaptation et de médecine physique*. sciencedirect, 49, 257-264.

Sellwood, K.L., Brukner, P., Williams, D., Nicol, A. et Hinman, R. (2007). Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med*, 41(6), 392-397. doi: 10.1136/bjsm.2006.033985

Shephard, R.J. et Shek, P.N. (1998). Acute and chronic over-exertion: do depressed immune responses provide useful markers? *Int J Sports Med*, 19(3), 159-171.



- Silvers, H., Schlegel, S. et Dao, D. (2013). (Santa Monica Sports Medicine Foundation).
- Soligard, T., Myklebust, G., Steffen, K., Holme, I., Silvers, H., Bizzini, M., Junge, A., Dvorak, J., Bahr, R. et Andersen, T.E. (2008). Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: cluster randomised controlled trial. *BMJ*, 337, a2469.
- Spence, A.P. et Mason, E.B. (1983). Anatomie et physiologie: une approche intégrée. : Ed. du Renouveau pédagogique.
- Steele DS, Duke AM (2003). Metabolic factors contributing to altered  $\text{Ca}^{2+}$  regulation in skeletal muscle fatigue. *Acta Physiol Scand* 179: 39-48.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C. et Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Med*, 35(6), 501-536.
- Thompson, N., Halpern, B., Curl, W.W., Andrews, J.R., Hunter, S.C., Boring, J.R., 3rd et McLeod, W.D. (1987). High school football injuries: evaluation. *Am J Sports Med*, 15(2), 117-124.
- Tudor-Locke, C., Sisson, S.B., Lee, S.M., Craig, C.L., Plotnikoff, R.C. et Bauman, A. (2006). Evaluation of quality of commercial pedometers. *Can J Public Health*, 97 Suppl 1, S10-15, S10-16.
- Ueblicher, P., Muller-Wohlfahrt, H.W. et Ekstrand, J. (2015). Epidemiological and clinical outcome comparison of indirect ('strain') versus direct ('contusion') anterior and posterior thigh muscle injuries in male elite football players: UEFA Elite League study of 2287 thigh injuries (2001-2013). *Br J Sports Med*, 49(22), 1461-1465.

- Varley, M.C., Fairweather, I.H. et Aughey, R.J. (2012). Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *J Sports Sci*, 30(2), 121-127.
- Walden, M., Atroshi, I., Magnusson, H., Wagner, P. et Hagglund, M. (2012). Prevention of acute knee injuries in adolescent female football players: cluster randomised controlled trial. *BMJ*, 344, e3042.
- Wallace, L.K., Slaterry, K.M. et Coutts, A.J. (2009). The ecological validity and application of the session-RPE method for quantifying training loads in swimming. *J Strength Cond Res*, 23(1), 33-38.
- Weineck, J. (1998). *Biologie du sport*. : Vigot.
- Westerblad H, Allen DG (1991). Changes of myoplasmic calcium concentration during fatigue in single mouse muscle fibers. *J Gen Physiol* 98(3):615-35.
- Wisbey, B., Montgomery, P.G., Pyne, D.B. et Rattray, B. (2010). Quantifying movement demands of AFL football using GPS tracking. *J Sci Med Sport*, 13(5), 531-536.
- Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R. et Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med*, 38(3), 285-288.
- Woods, C., Hawkins, R.D., Maltby, S., Hulse, M., Thomas, A., Hodson, A. et Football Association Medical Research, P. (2004). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football--analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med*, 38(1), 36-41.

Sites web :

[www.federation-soccer.qc.ca](http://www.federation-soccer.qc.ca)

[www.m.fifa.com](http://www.m.fifa.com)

[www.olympique.ca](http://www.olympique.ca)

## **ANNEXE A**



# DISTRIBUTION HEBDOMADAIRE DES SÉANCES-RPE POUR LES 18 PARTICIPANTS

Semaine 1														
Date	05-janv-15	06-janv-15	07-janv-15	08-janv-15	09-janv-15	10-janv-15	11-janv-15	Moyenne	TL Semaine	Montorie	Contrainte	Fitness		
participant 1	0,00	525,00	960,00	0,00	0,00	0,00	0,00	212,14	1485,00	0,55	821,58	663,42		
participant 2	0,00	562,50	960,00	675,00	0,00	0,00	0,00	313,93	2197,50	0,77	1686,62	510,88		
participant 3	0,00	525,00	840,00	0,00	0,00	0,00	0,00	195,00	1365,00	0,56	771,04	593,96		
participant 4	0,00	637,50	960,00	765,00	0,00	0,00	0,00	337,50	2362,50	0,78	1848,89	513,61		
participant 5	120	0	0	0	0	0	0	17,14	120,00	0,38	45,36	74,64		
participant 6	900	600	720	675	0	0	0	413,57	2895,00	1,04	3014,12	-119,12		
participant 7	960	0	900	630	0	0	0	355,71	2490,00	0,78	1946,17	543,83		
participant 8	1080	450	780	720	0	0	0	432,86	3030,00	0,97	2952,30	77,70		
participant 9	960	637,5	960	0	0	0	0	358,79	2497,50	0,78	1954,64	542,86		
participant 10	960	637,5	960	0	0	0	0	365,36	2557,50	0,78	1995,78	561,72		
participant 11	720	0	900	0	0	0	0	231,43	1620,00	0,58	940,48	679,52		
participant 12	0	0	960	720	0	0	0	240,00	1680,00	0,58	969,95	710,05		
participant 13	0	0	900	630	0	0	0	321,43	2250,00	0,79	1769,66	480,34		
participant 14	720	0	0	0	0	0	0	85,71	600,00	0,38	226,78	373,22		
participant 15	600	0	900	0	0	0	0	231,43	1620,00	0,58	940,48	679,52		
participant 16	720	0	900	0	0	0	0	274,00	1918,00	0,69	1458,92	459,08		
participant 17	516,00	305,00	776,00	321,00	0,00	0,00	0,00	116,72	817,07	0,19	882,09	251,55		
Moyenne	437,28	299,28	322,69	356,72	0,00	0,00	0,00							
Ecart-type														

Semaine 2														
Date	12-janv-15	13-janv-15	14-janv-15	15-janv-15	16-janv-15	17-janv-15	18-janv-15	Moyenne	TL Semaine	Montorie	Contrainte	Fitness		
participant 1	0,00	585,00	0,00	810,00	0,00	0,00	0,00	199,29	1395,00	0,58	802,35	592,65		
participant 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
participant 3	525,00	455,00	675,00	765,00	630,00	0,00	0,00	435,71	3050,00	1,39	4232,63	-1182,63		
participant 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
participant 5	637,50	0,00	765,00	675,00	0,00	0,00	0,00	296,79	2077,50	0,80	1657,07	420,43		
participant 6	0	585	720	0	0	0	0	186,43	1305,00	0,58	758,47	546,53		
participant 7	600	455	630	630	720	0	0	433,57	3035,00	1,41	4294,49	-1259,49		
participant 8	0	390	0	630	0	0	0	145,71	1020,00	0,56	575,37	444,63		
participant 9	0	487,5	0	675	0	0	0	166,07	1162,50	0,58	668,62	493,88		
participant 10	562,5	585	0	540	540	0	0	318,21	2227,50	1,07	2378,19	-150,69		
participant 11	675	585	0	0	720	0	0	282,86	1980,00	0,80	1577,58	402,42		
participant 12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
participant 13	105	455	0	0	630	0	0	170,00	1190,00	0,65	771,40	418,60		
participant 14	0	0	0	675	720	0	0	199,29	1395,00	0,59	816,23	578,77		
participant 15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
participant 16	637,5	487,5	540	675	810	0	0	450,00	3150,00	1,39	4374,89	-1224,89		
participant 17	0	390	540	0	0	0	0	132,86	930,00	0,58	534,90	395,10		
participant 18	0	455	540	675	0	0	0	238,57	1670,00	0,78	1308,99	361,01		
Moyenne	267,32	422,50	315,00	482,14	340,71	0,00	0,00	261,10	1827,68	0,84	1767,94	59,74		
Ecart-type	307,73	191,64	333,03	322,30	358,58	0	0	111,54	780,80	0,33	1464,64	717,09		



Semaine 3															
Date	15-janv-15	16-janv-15	17-janv-15	18-janv-15	19-janv-15	20-janv-15	21-janv-15	22-janv-15	23-janv-15	24-janv-15	25-janv-15	Moyenne	TL Semaine	Montonic	Contrainte
participant 1	0,00	840,00	0,00	0,00	560,00	0,00	0,00	787,50	0,00	540,00	0,00	277,14	1940,00	0,14	277,14
participant 2	0,00	840,00	562,50	0,00	520,00	787,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	477,14	3340,00	1,38	4613,95
participant 3	630,00	840,00	0,00	0,00	640,00	735,00	810,00	735,00	735,00	810,00	0,00	432,14	3025,00	1,06	3195,20
participant 4	0,00	840,00	562,50	0,00	560,00	735,00	210,00	735,00	735,00	210,00	0,00	441,07	3087,50	1,14	3530,08
participant 5	1020,00	0,00	600	600	640	382,5	765	382,5	735	720	0	572,50	4007,50	1,92	7681,59
participant 6	720	840	0	840	480	735	720	735	720	720	0	396,43	2775,00	1,03	2849,08
participant 7	0	720	0	0	480	0	720	0	0	720	0	274,29	1920,00	0,78	1498,98
participant 8	0	960	525	600	840	840	720	840	720	720	0	520,71	3645,00	1,36	4946,95
participant 9	810	960	375	640	640	630	720	630	630	720	0	590,71	4135,00	1,87	7720,19
participant 10	675	900	0	640	787,5	150	810	0	442,86	3100,00	0	450,36	3152,50	1,16	3669,59
participant 11	810	840	0	640	560	892,5	810	0	268,57	1880,00	0	328,93	2302,50	0,76	1433,20
participant 12	0	840	0	0	600	892,5	810	0	68,57	480,00	0	68,57	480,00	0,38	181,42
participant 13	0	840	0	0	600	892,5	810	0	68,57	480,00	0	68,57	480,00	0,38	181,42
participant 14	0	840	0	0	600	892,5	810	0	68,57	480,00	0	68,57	480,00	0,38	181,42
participant 15	0	840	0	0	600	892,5	810	0	68,57	480,00	0	68,57	480,00	0,38	181,42
participant 16	630	840	375	640	600	0	810	0	465,00	3255,00	0	465,00	3255,00	1,32	4293,51
participant 17	0	720	0	0	0	0	0	0	102,86	720,00	0	102,86	720,00	0,38	272,13
participant 18	0	0	0	0	0	735	0	735	0	0	0	105,00	735,00	0,38	277,80
Moyenne	311,47	649,41	176,47	176,47	508,24	427,06	486,18	427,06	365,55	2558,82	0,00	365,55	2558,82	0,99	3030,67
Ecart-type	393,00	376,64	252,52	252,52	199,88	382,93	340,37	382,93	161,28	1128,97	0	161,28	1128,97	0,50	2364,58
Fitness	1662,86	1662,86	-1273,95	-1273,95	-170,20	-442,58	-3674,09	-74,08	421,02	1301,95	-3585,19	-517,09	-174,68	446,62	298,58

Semaine 4													
Date	26-janv-15	27-janv-15	28-janv-15	29-janv-15	30-janv-15	31-janv-15	01-févr-15	Moyenne	TL Semaine	Montonic	Contrainte	Fitness	
participant 1	0,00	720,00	0,00	0,00	0,00	540,00	0,00	180,00	1260,00	0,58	727,46	532,54	
participant 2													
participant 3	765,00	630,00	720,00	675,00	420,00	247,50	0,00	493,93	3457,50	1,74	6000,15	-2542,65	
participant 4	540,00	630,00	0,00	630,00	0,00	0,00	0,00	257,14	1800,00	0,80	1436,94	363,06	
participant 5	540,00	0,00	280,00	630,00	0,00	0,00	0,00	207,14	1450,00	0,74	1077,13	372,87	
participant 6	720	900	600	640	382,5	765	0	572,50	4007,50	1,92	7681,59	-3674,09	
participant 7	630	630	0	765	0	675	0	385,71	2700,00	1,06	2864,23	-164,23	
participant 8	540	540	420	765	0	630	0	413,57	2895,00	1,37	3974,67	-1079,67	
participant 9	585	585	0	675	0	675	0	360,00	2520,00	1,06	2678,10	-158,10	
participant 10	90	765	0	450	0	720	0	289,29	2025,00	0,83	1681,27	343,73	
participant 11	540	675	675	765	0	210	0	409,29	2865,00	1,23	3536,68	-671,68	
participant 12	0	675	630	720	0	450	0	353,57	2475,00	1,04	2565,05	-90,05	
participant 13	0	675	630	630	0	315	0	321,43	2250,00	1,00	2240,02	9,98	
participant 14	540	0	0	675	360	720	0	327,86	2295,00	1,00	2298,83	-3,83	
participant 15	0	630	0	540	0	157	0	189,57	1327,00	0,68	906,97	420,03	
participant 16	225	630	0	630	0	520	0	286,43	2005,00	0,95	1913,35	91,65	
participant 17													
participant 18	0	720	0	630	0	315	0	237,86	1665,00	0,74	1233,50	431,50	
Moyenne	357,19	587,81	247,19	613,75	72,66	433,72	0,00	330,33	2312,31	1,05	2676,00	-363,68	
Ecart-type	296,44	243,43	306,05	182,96	156,60	259,92	0,00	109,01	763,08	0,37	1890,03	1171,00	



Semaine 5												
Date	02-fev-15	03-fev-15	04-fev-15	05-fev-15	06-fev-15	07-fev-15	08-fev-15	Moyenne	TL Semaine	Montone	Contrainte	Fitness
participant 1	0,00	1020,00	720,00		0,00	270,00			270,00			
participant 2												
participant 3	675,00	840,00	390,00	840,00	0,00	0,00	630,00	482,14	3375,00	1,33	4488,47	-1113,47
participant 4	720,00	840,00	0,00	840,00	0,00	0,00	720,00	445,71	3120,00	1,06	3312,63	-192,63
participant 5	675,00	840,00	585,00	780,00	0,00	0,00	280,00	451,43	3160,00	1,27	3998,34	-838,34
participant 6	765	840	0	960	450	450	175	0	3190,00	1,12	3575,54	-385,54
participant 7	540	720	0	720	375	375	540	0	2895,00	1,35	3907,43	-1012,43
participant 8	0	840	0	720	0	0	0	222,86	1560,00	0,58	909,68	650,32
participant 9	0	0	390	780	0	0	720	0	1890,00	0,75	1425,78	464,22
participant 10	540	840	540	780	487,5	487,5	420	0	3607,50	1,88	6772,83	-3165,33
participant 11	0	900	630	900	450	450	675	0	3555,00	1,33	4742,41	-1187,41
participant 12	675	780	540	840	0	0	520	0	3355,00	1,38	4630,28	-1275,28
participant 13	0	900	0	720	525	525	125	0	2270,00	0,85	1918,32	351,68
participant 14	0	0	720	900	562	562	520	0	2702,00	1,01	2736,35	-34,35
participant 15	0	840	0	720	0	0	0	222,86	1560,00	0,58	909,68	650,32
participant 16	247,5	840	0	900	300	300	738	0	3025,50	1,11	3369,20	-343,70
participant 17												
participant 18												
Moyenne	302,34	742,50	315,94	765,00	213,72	435,19	0,00	407,14	2850,00	1,03	2932,62	-82,62
Ecart-type	331,90	296,28	300,87	217,44	231,93	259,10	0	95,91	671,37	0,34	1582,05	985,22

Semaine 6												
Date	09-fevr-15	10-fevr-15	11-fevr-15	12-fevr-15	13-fevr-15	14-fevr-15	15-fevr-15	Moyenne	TL Semaine	Montonie	Contrainte	Fitness
participant 1	0,00	720,00	0,00	0,00	0,00	630,00	0,00	192,86	1350,00	0,58	788,03	561,97
participant 2												
participant 3	562,50	840,00	450,00	720,00	450,00	765,00	0,00	541,07	3787,50	1,91	7235,43	-3447,93
participant 4	280,00	840,00	300,00	0,00	175,00	720,00	0,00	330,71	2315,00	1,00	2312,90	2,10
participant 5	487,50	1020,00	525,00	900,00	0,00	765,00	0,00	528,21	3697,50	1,30	4794,03	-1096,53
participant 6												
participant 7	450	0	0	840	0	675	0	280,71	1965,00	0,76	1499,31	465,69
participant 8	0	840	0	840	0	720	0	342,86	2400,00	0,80	1915,92	484,08
participant 9	487,5	960	0	840	0	765	0	436,07	3052,50	1,01	3082,33	-29,83
participant 10	450	780	375	720	0	810	0	447,86	3135,00	1,29	4047,49	-912,49
participant 11	525	0	450	900	487,5	75	0	348,21	2437,50	1,03	2516,36	-78,86
participant 12	412,5	840	562,5	840	0	600	0	465,00	3255,00	1,32	4297,72	-1042,72
participant 13	0	840	0	0	0	1	0	120,14	841,00	0,38	318,31	522,69
participant 14	0	0	562,5	900	525	765	0	393,21	2752,50	1,01	2786,92	-34,42
participant 15	0	840	0	0	0	0	0	120,00	840,00	0,38	317,49	522,51
participant 16	450	720	0	720	300	720	0	415,71	2910,00	1,27	3709,91	-799,91
participant 17												
participant 18	525	840	0	840	375	810	0	484,29	3390,00	1,29	4382,95	-992,95
Moyenne	308,67	672,00	215,00	604,00	154,17	588,07	0,00	363,13	2541,90	1,02	2933,67	-391,77
Ecart-type	234,51	355,83	246,50	381,82	210,53	297,50	0	135,16	946,14	0,41	1885,18	1057,48



## Semaine 7

Date	16-févr-15	17-févr-15	18-févr-15	19-févr-15	20-févr-15	21-févr-15	22-févr-15	Moyenne	11 Semaine	Moyenne	Contrainte	Finale
participant 1	0,00	900,00	0,00	840,00	0,00	0,00	450,00	312,86	2190,00	0,75	1651,31	538,69
participant 2												
participant 3	630,00	780,00	487,50	720,00	450,00	0,00	720,00	541,07	3787,50	2,01	7628,95	-3841,45
participant 4	0,00	0,00	0,00	720,00	0,00	0,00	765,00	212,14	1485,00	0,59	868,97	616,03
participant 5	960,00	1020,00	0,00	0,00	0,00	0,00	720,00	385,71	2700,00	0,79	2126,57	573,43
participant 6												
participant 7	540	0	0	960	0	0	560	294,29	2060,00	0,75	1547,69	512,31
participant 8												
participant 9	0	0	0	840	0	0	720	222,86	1560,00	0,58	909,68	650,32
participant 10	0	840	450	0	0	0	720	287,14	2010,00	0,76	1334,01	475,99
participant 11	540	900	0	960	0	0	40	348,57	2440,00	0,79	1972,52	517,48
participant 12	0	900	0	840	0	0	675	345,00	2415,00	0,79	1913,07	501,93
participant 13												
participant 14	0	0	0	1020	360	0	720	300,00	2100,00	0,71	1500,00	600,00
participant 15	0	840	0	960	0	0	0	257,14	1800,00	0,58	1050,71	749,29
participant 16	0	840	0	780	270	0	720	372,86	2610,00	0,95	2468,98	141,02
participant 17												
participant 18	540	0	0	840	0	0	720	300,00	2100,00	0,78	1639,82	460,18
Moyenne	246,92	877,50	72,12	729,23	83,08	0,00	579,23	321,51	2250,58	0,83	2058,64	191,94
Ecart-type	341,65	447,66	176,20	336,61	162,09	0	262,32	84,17	589,17	0,37	1736,43	1220,01

## Semaine 8

Date	23-févr-15	24-févr-15	25-févr-15	26-févr-15	27-févr-15	28-févr-15	01-mars-15	Moyenne	11 Semaine	Moyenne	Contrainte	Finale
participant 1	0,00	840,00	525,00	840,00	420,00	0,00	540,00	452,14	3165,00	1,30	4120,20	-955,20
participant 2												
participant 3	0,00	720,00	0,00	840,00	360,00	0,00	765,00	383,57	2685,00	0,99	2646,06	38,94
participant 4	0,00	780,00	0,00	0,00	0,00	0,00	765,00	220,71	1545,00	0,59	904,60	640,40
participant 5	0,00	0,00	0,00	900,00	390,00	0,00	0,00	184,29	1290,00	0,53	684,19	605,81
participant 6												
participant 7												
participant 8	0	720	0	720	0	0	560	285,71	2000,00	0,79	1585,90	414,10
participant 9	0	0	270	0	0	0	810	154,29	1080,00	0,50	544,27	535,73
participant 10	0	0	0	900	0	0	195	156,43	1095,00	0,47	510,03	584,97
participant 11	0	0	0	900	0	0	195	156,43	1095,00	0,47	510,03	584,97
participant 12	0	840	292,5	900	0	0	720	393,21	2752,50	0,95	2603,12	149,38
participant 13	0	900	450	840	0	0	480	381,43	2670,00	0,97	2586,66	83,34
participant 14	0	0	0	0	0	0	292,5	41,79	292,50	0,38	110,55	181,95
participant 15	0	0	0	720	0	0	0	102,86	720,00	0,38	272,13	447,87
participant 16	0	660	0	720	0	0	292,5	238,93	1672,50	0,73	1223,59	448,91
participant 17												
participant 18	0	720	0	1080	0	0	720	360,00	2520,00	0,77	1951,98	568,02
Moyenne	0,00	441,43	109,82	668,57	83,57	0,00	452,50	250,84	1755,89	0,70	1446,67	309,23
Ecart-type	0	401,19	189,68	374,22	166,48	0	288,17	126,13	882,94	0,28	1181,80	419,00



Semaine 9													
Date	02-mars-15	03-mars-15	04-mars-15	05-mars-15	06-mars-15	07-mars-15	08-mars-15	Moyenne	TL Semaine	Monteale	Contrainte	Fitness	
participant 1	0,00	720,00	0,00	720,00	0,00	0,00	0,00	205,71	1440,00	0,59	843,18	596,82	
participant 2													
participant 3	0,00	0,00	0,00	80,00	0,00	0,00	0,00	11,43	80,00	0,38	30,24	49,76	
participant 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	
participant 5	0,00	960,00	0,00	675,00	0,00	0,00	0,00	233,57	1635,00	0,57	937,62	697,38	
participant 6													
participant 7	0	900	0	720	0	0	0	231,43	1620,00	0,58	940,48	679,52	
participant 8	0	600	0	810	0	0	0	201,43	1410,00	0,58	813,08	596,92	
participant 9	0	840	0	810	0	0	0	235,71	1650,00	0,59	965,92	684,08	
participant 10	0	0	0	385	0	0	0	55,00	385,00	0,38	145,52	239,48	
participant 11	0	900	0	302,5	0	0	0	171,79	1202,50	0,50	606,98	595,52	
participant 12	0	900	0	675	0	0	0	225,00	1575,00	0,58	909,33	665,67	
participant 13	0	0	0	325	0	0	0	46,43	325,00	0,38	122,84	202,16	
participant 14	0	0	0	280	0	0	0	40,00	280,00	0,38	105,83	174,17	
participant 15	0	840	0	150	0	0	0	141,43	990,00	0,45	447,23	542,77	
participant 16													
participant 17													
participant 18	0	840	0	765	0	0	0	229,29	1605,00	0,58	938,36	666,64	
Moyenne	0,00	535,71	0,00	478,39	0,00	0,00	0,00	144,87	1092,12	0,47	557,61	456,49	
Ecart-type	0	423,26	0	290,11	0	0	0	92,97	605,39	0,16	396,12	260,02	

Semaine 10													
Date	09-mars-15	10-mars-15	11-mars-15	12-mars-15	13-mars-15	14-mars-15	15-mars-15	Moyenne	TL Semaine	Monteale	Contrainte	Fitness	
participant 1	0,00	720,00	0,00	525,00	0,00	0,00	0,00	242,14	1695,00	0,77	1313,21	381,79	
participant 2													
participant 3	0,00	840,00	0,00	637,50	0,00	0,00	0,00	232,50	1627,50	0,65	1065,92	561,58	
participant 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	
participant 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	102,86	720,00	0,38	272,13	447,87	
participant 6													
participant 7	0	840	0	450	0	0	675	280,71	1965,00	0,76	1499,31	465,69	
participant 8	0	840	0	450	0	0	630	274,29	1920,00	0,76	1462,13	457,87	
participant 9	0	720	0	450	0	0	585	250,71	1755,00	0,78	1365,35	389,65	
participant 10	0	0	0	0	0	0	360	51,43	360,00	0,38	136,07	223,93	
participant 11	0	0	0	562,5	0	0	0	80,36	562,50	0,38	212,61	349,89	
participant 12	0	900	0	0	0	0	540	205,71	1440,00	0,56	808,55	631,45	
participant 13	0	0	0	525	0	0	45	81,43	570,00	0,41	236,43	333,57	
participant 14	0	0	0	637,5	0	0	630	181,07	1267,50	0,59	742,15	525,35	
participant 15	0	0	0	0	0	0	412,5	58,93	412,50	0,38	155,91	256,59	
participant 16	0	660	0	450	0	0	0	158,57	1110,00	0,57	634,25	475,75	
participant 17													
participant 18	0	900	0	600	0	0	595	299,29	2095,00	0,77	1621,60	473,40	
Moyenne	0,00	428,00	0,00	352,50	0,00	0,00	386,17	166,17	1250,00	0,54	768,38	398,29	
Ecart-type	0	419,31	0	265,47	0	0	273,29	97,29	622,35	0,22	579,97	154,77	

Semaine 11														Fitness	
Date	16-mars-15	10-mars-15	17-mars-15	18-mars-15	19-mars-15	20-mars-15	21-mars-15	Moyenne	Tl Semaine	Montonie	Contrainte	Fitness			
participant 1	0,00	480,00	0,00	240,00	0,00	360,00	0,00	154,29	1080,00	0,75	814,73	265,27			
participant 2															
participant 3	0,00	660,00	0,00	270,00	0,00	450,00	0,00	197,14	1380,00	0,00	0,00	1380,00			
participant 4	0,00	840,00	0,00	300,00	0,00	330,00	0,00	210,00	1470,00	0,67	979,63	490,37			
participant 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,00	0,00	8,57	60,00	0,38	22,68	37,32			
participant 6															
participant 7	0	0	0	330	0	630	0	137,14	960,00	0,55	527,23	432,77			
participant 8	0	720	0	300	0	675	0	242,14	1695,00	0,73	1243,55	451,45			
participant 9	0	600	0	0	0	675	0	182,14	1275,00	0,58	744,76	530,24			
participant 10	0	0	0	225	0	720	0	135,00	945,00	0,50	470,33	474,67			
participant 11	0	900	0	360	0	0	0	180,00	1260,00	0,52	658,01	601,99			
participant 12	0	780	0	0	0	540	0	188,57	1320,00	0,57	755,63	564,37			
participant 13	0	780	0	270	0	120	0	167,14	1170,00	0,58	677,33	492,67			
participant 14	0	660	0	0	0	495	0	165,00	1155,00	0,58	666,84	488,16			
participant 15	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
participant 16	0	660	0	210	0	540	0	201,43	1410,00	0,71	996,61	413,39			
participant 17															
participant 18	0	0	0	360	0	540	0	128,57	900,00	0,57	512,82	387,18			
Moyenne	0,00	472,00	0,00	191,00	0,00	409,00	0,00	153,14	1148,57	0,51	604,68	467,32			
Ecart-type	0	359,19	0	146,14	0	253,00	0	67,68	383,36	0,23	368,72	307,18			